



CHALMERS

Marin Autopilot med smarttelefon-applikation

Examensarbete inom Högskoleingenjörsprogrammet i Data-teknik

Jacob Engdahl
Patrik Fritzner

Marin Autopilot

Med smarttelefon-applikation

Jacob Engdahl, Patrik Fritzner

© JACOB ENGDAHL, PATRIK FRITZNER, 2014

Institutionen för data- och informationsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Tel: 031-772 1000

Fax: 031-772 3663

Institutionen för data- och informationsteknik
Göteborg, 2014

Sammanfattning

En marin autopilot har i uppgift att kvarhålla en given kurs, oberoende på hur de yttre förhållandena ser ut. En autopilot består i stora drag av tre huvudkomponenter: sensorer, navigationsdator och styrmekanism. I projektet ska nya möjligheter med att skapa ett nautiskt automatiskt styrsystem genom praktisk tillämpning av enkla medel behandlas. Målet är att utveckla en körbar prototyp och programvara som automatiserar styrningen för en fyra meters båt. Ett nytt motorfäste konstrueras där styrmekanismen som styr primära motorn (MotorGuide) integreras. Styrmekatronik som används inom projektet är: mikrokontroller, motorkontroller, lägesensorer, trådlös mottagare, dc motor, samt diverse kugghjul och växlar. En Android applikation utvecklas, med gränssnitt och integrerad navigationsdator för en fristående reglering. Regleringen sker i form av en logikdel med PID-reglering vilket innebär en strävan efter att reglera utsignalen mot samma värde som börvärdet. I en autopilot kan börvärdet definieras som kursen som ska kvarhållas. Det diskuteras kring hur lämpligt vald systemdesignen är avseende placeringen av navigationskritiska moment, vilket nu hanteras i en smarttelefon, där information överförs trådlöst. Resultatet är en komplett autopilot prototyp med tillhörande Android applikation. Android applikationen fungerar som plotter och navigationsdator. Gränssnittet utgörs av sex olika aktiviteter som gör det möjligt för användaren att skapa nya färdvägar, manuellt styra båten, samt automatisk styra båt efter angiven färdväg. En realtidsuppdaterad färdväg illustreras på en geografisk karta under automatisk styrning samt när en färdväg sparas.

Innehållsförteckning

| | | |
|-------|-------------------------------------|----|
| 1 | Inledning..... | 1 |
| 1.1 | Syfte..... | 1 |
| 1.2 | Mål..... | 1 |
| 1.3 | Avgränsningar..... | 1 |
| 2 | Ordlista..... | 2 |
| 3 | Teknisk beskrivning..... | 3 |
| 3.1 | Autopilot..... | 3 |
| 3.1.1 | Sensorer..... | 3 |
| 3.1.2 | Navigationsdator..... | 3 |
| 3.1.3 | Styrmekanism..... | 3 |
| 3.2 | Autopilot med trådlös kontroll..... | 4 |
| 3.3 | Elektroniska komponenter..... | 4 |
| 3.3.1 | Mikrokontroller..... | 4 |
| 3.3.2 | Arduino..... | 4 |
| 3.3.3 | GPS..... | 4 |
| 3.3.4 | Digital kompass..... | 4 |
| 3.3.5 | Motorkontroller..... | 4 |
| 3.3.6 | Rotationsindikator..... | 4 |
| 3.3.7 | Magnetsensor..... | 5 |
| 3.3.8 | Bluetooth..... | 5 |
| 3.4 | Reglering – PID..... | 5 |
| 3.5 | Androidapplikation..... | 6 |
| 3.5.1 | Aktivitet..... | 6 |
| 3.5.2 | Service..... | 6 |
| 4 | Utförande..... | 7 |
| 4.1 | Fäste och styrmekanism..... | 7 |
| 4.2 | Systemdesign..... | 7 |
| 4.3 | Styrmekanism - komponentval..... | 9 |
| 4.3.1 | Digitala komponenter..... | 9 |
| 4.3.2 | Mekanik och styrmotor..... | 10 |
| 4.4 | Mjukvara..... | 13 |
| 4.4.1 | Androidapplikation..... | 13 |
| 4.4.2 | Navigationsdator..... | 13 |

| | |
|--------------------------------------|----|
| 4.4.3 Mjukvara för styrmekanism..... | 13 |
| 4.5 Testning av prototyp | 15 |
| 5 Resultat | 16 |
| 5.1 Gränssnitt | 16 |
| 5.2 Navigationsdator..... | 17 |
| 5.3 Styrmekanism | 17 |
| 6 Diskussion..... | 18 |
| 6.1 Styrmekanism | 18 |
| 6.2 Kontroll och gränssnitt..... | 19 |
| 6.3 Planering | 19 |

Referenser

Bilagor

1 Inledning

En marin autopilot har i uppgift att kvarhålla en given kurs för båten, oberoende på hur de yttre förhållandena ser ut. Det finns flera olika typer av autopiloter anpassande för olika motorer, båttyper och användningsområde [Flotecmarine2014]. Tre vanligt förekommande funktioner hos en autopilot är: manuell styrning via systemet, ställa in en kurs som båten sedan följer, respektive automatisk styrning av båten efter en given färdväg [Flotecmarin2014a].

1.1 Syfte

Syftet med projektet är att undersöka nya möjligheter med att skapa ett nautiskt automatiskt styrsystem genom praktisk tillämpning av enkla medel. Det vill säga lättillgängliga komponenter som inte är specialtillverkade för att användas i en marin autopilot.

1.2 Mål

Målet är att utveckla en prototyp och programvara som automatiserar styrningen för en fyra meters båt. Automatstyrningen ska styra efter en tidigare lagrad färdväg. Automatiseringen ska ta hänsyn till vanliga påverkande faktorer som till exempel vind och strömmar. Ett gränssnitt ska vara tillgängligt i en smarttelefon-applikation, där kommunikation med den automatiserade styrningen ska vara möjlig.

1.3 Avgränsningar

Automationen kommer inte kontrollera den befintliga motorn på båten. Motorn kommer istället att vara statiskt ställd av användaren. Prototypen är avsedd för mindre båtar med maximal hastighet av 5 knop.

2 Ordlista

CPLD - Complex Programmable Logic Device, en integrerad krets använd för implementering av digital hårdvara [Brown2000].

CPU - CPU står för Central Processing Unit, är hjärnan i datorn och behandlar alla generella beräkningar [Thompson2003].

FPGA - (Field-Programmable Gate Array) Logiskt programmerbart chip med högre logisk kapacitet än CPLD [Brown2000].

I/O-pin - Pin som kan användas till både input och output.

Java - Java är ett objektorienterat programmeringsspråk skapat av Sun Microsystems år 1990. Java är plattformsoberoende [Daintith2008a].

RAM - Förkortning för Random Access Memory och fungerar som ett temporärt minne för processorn att använda under beräkningar. Lätt att läsa och skriva på. [Raymond2000].

ROM - ROM står för Read Only Memory. Det vill säga att det är svårt att skriva till minnet, meningen är alltså att det ska vara förprogrammerat och inte behöver programmeras något mer. ROM kan till exempel användas som lagring av instruktioner till en dators uppstart [Raymond2000].

XML - Förkortning för Extensible Markup Language och används mest till Webben. XML-data använder taggar för att definiera olika element och dess hierarki, vilket gör det lätt att hantera datan [Daintith2008].

3 Teknisk beskrivning

Kapitlet beskriver viktiga begrepp som förekommer i rapporten.

3.1 Autopilot

En marin autopilot består i stora drag av tre huvudkomponenter [Raymarine2013].

- Sensorer
- Navigationsdator
- Styrmekanism

3.1.1 Sensorer

För att kalkylera vilket roderutslag som ska antas, krävs att systemet tillhandahåller information om båten. Med endast en kompass är det möjligt att göra en simpel autopilot, där syftet är att behålla en viss kurs. För att öka funktionalitet eller exakthet finns alternativet att implementera fler sensorer, till exempel en GPS, för att tillåta färd mot en viss geografisk koordinat [Schlaefel2011].

Ytterligare värdefull data att inhämta är lutning mellan akter och för, samt lutning mellan styrbord och babord, vilket kan erhållas från ett gyroskop. Det förekommer i dagens autopiloter som finns på marknaden, informationen i fråga är dock viktigare när det handlar om större skepp som kräver stabilitet i alla riktningar [Raymarine2014].

3.1.2 Navigationsdator

När sensordatan är samlad ska beräkningar göras angående hur rodret ska påverkas av styrsystemet. Om båtens färdriktning har ett fel på till exempel tjugo grader ska rodret på minsta möjliga tid styra båten i rätt kurs. Ett sätt att erhålla rätt kurs är genom PID-reglering (proportional-integral-derivative), vilket innebär att summan av tre termer som beror på felvinkeln, med olika förstärkning, bildar en tillfredsställande utsignal. Första termen är linjär med felet (antal grader ur kurs), andra termen är linjär med integralen av felet, och tredje termen är linjär med derivatan av felet. PID-reglering kommer att förklaras mer utförligt senare i rapporten [Åström1995].

En nackdel med PID-reglering är att det är svårt att kalibrera gynnsamma inställningar. För att få en optimal reglering krävs att PID-regleringen är flexibel, då sjöförhållanden inte är statiska [Schlaefel2011].

I dagens marina autopiloter kompletteras regleringen med ett antal funktioner som bland annat motverkar ofrivilliga girningar samt innehåller automatiserad anpassning som beror på båtens styrkaraktäristik och aktuella sjöförhållanden [Raymarine2013].

3.1.3 Styrmekanism

Styrmekanismen i autopiloten är delen i systemet som omvandlar digitala styrsignaler till mekanisk rörelse, vilket ger en förflyttning av rodrets position.

Styrmekanismen integreras oftast med båtens befintliga styrsystem, två vanliga styrsystem är hydrauliskt eller mekaniskt styrsystem. I båda fallen integreras en ny motorstyrd enhet till det befintliga systemet som kopplas till autopilotens kretsar för mottagande av styrsignaler [Flotecmarin2014].

3.2 Autopilot med trådlös kontroll

Minn Kota är ett företag som har utvecklat ett marint autopilotsystem vid namn i-Pilot. Lösningen består av en fjärrkontroll och företagets egentillverkade motor, där autopilotfunktioner är integrerade. Fjärrkontrollen erbjuder användaren att spara och åka efter färdväg, bevara position, aktivera farthållare, starta avancerad autopilot, samt manuellt styra båten [Minn Kota2011].

3.3 Elektroniska komponenter

Nedan följer förklaring av komponenter och tekniker som förekommer i rapporten.

3.3.1 Mikrokontroller

En mikrokontroller fungerar som en liten dator, med CPU, RAM, ROM, I/O-pins, timers och rymms på ett chip. Storleken och självständigheten bidrar till att mikrokontrollern lätt kan integreras i system och hantera specifika funktioner. Mikrokontroller används idag frekvent i till exempel hemelektronik, bilar och robotar. [Blacharski2014]

3.3.2 Arduino

Arduino är idag ett välkänt varumärke som erbjuder funktionella mikrokontroller som gör det lätt att programmera hårdvarunära med ett språk som är baserat på C och C++. Arduino är inte bara en plattform bra för nybörjare, med helt open-source mjukvara erbjuds stor frihet i utveckling som mer avancerade användare kan utnyttja. [Arduino2014]

3.3.3 GPS

GPS (Global Positioning System) är ett positioneringssystem där användaren kan avläsa sin geografiska position. Förutsättningen för att kunna avläsa positionen är att någon typ av navigator används och att navigatören har kontakt med minst tre GPS-satelliter [Ekblad2008].

GPS-systemet har idag ett brett användningsområde och används bland annat inom det militära, flygplan, bilar och sjöfart [Ekblad2008]. Det som gör GPS:en användbar för en bred målgrupp är nödvändigtvis inte bara positionsbestämningen, utan de tillämpningar som kan appliceras på positionsbestämningen. Sparas en referens till en tidigare GPS-position, känt som en waypoint, är det då möjligt att bland annat bestämma hastighet, bäring och distans. [Lindén2002].

3.3.4 Digital kompass

Magnetsensorer känsliga för låg magnetism gör det möjligt att mäta riktning och magnitud på jordens magnetfält i aktuell position. Med hjälp av sensordatan kan därefter riktning på väderstreck beräknas. Digitala kompasser används idag i många elektroniska system, till exempel telefoner och navigationsanordningar [Honeywell2011].

3.3.5 Motorkontroller

En motorkontroller används för att styra en motor med ett önskat beteende. Det finns fler olika utföranden av motorkontroller som klarar av olika uppgifter. Exempel på uppgifter en motorkontroller kan utföra är hastighetsreglering, broms, samt ändra riktning på motorn [Texas Instruments2008].

3.3.6 Rotationsindikator

En rotationsindikator används för att indikera rotation när en vridning på komponentens axel sker. Det finns många olika modeller som erbjuder olika hög upplösning, alltså hur många

indikationer som ska ske per varv roterat. Två utgångar används för att indikera rotation samt riktning. De två utgångarna bildar varsin fyrkantsvåg som tillsammans koordineras så att rotationsriktningen kan tolkas [CTS Electrocomponents2011].

3.3.7 Magnetsensor

En reed-switch används för att slå på en ström vid påverkan av ett magnetfält. Reed-switchen finns i flera olika utföranden, en enkel variant består av ett glasrör innehållande två "trådar" vanligtvis tillverkade i järn eller nickel. I normalt tillstånd är strömmen bruten och vid en magnetisk påverkan sluter sig kretsen, vilket resulterar i en ström [MEDER electronic2014].

3.3.8 Bluetooth

Bluetooth används idag för trådlös kortdistanskommunikation mellan en eller flera tekniska apparater. Karakteristiskt för Bluetooth är att det har en låg strömförbrukning, kommuniserar på korta avstånd och är kompatibelt med flera olika typer av tekniska enheter. Historiskt sett var det Ericsson som började utvecklingen av Bluetooth för att möjliggöra kommunikation mellan en dator och en mobiltelefon. Idag tillhandahålls Bluetooth-standarden i ett industrisamarbete kallat Bluetooth SIG [Stallings2005].

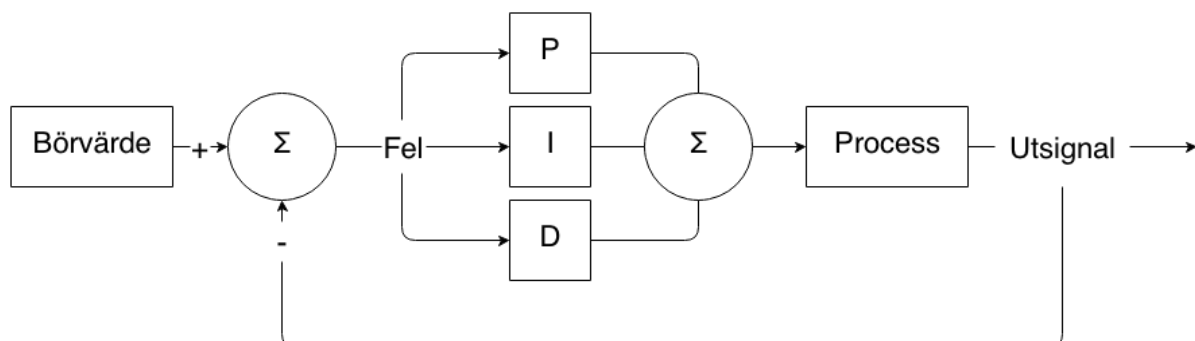
3.4 Reglering - PID

PID-reglering är en viktig del i många maskiner och vardagsprodukter. PID-reglering innebär en strävan att reglera utsignalen mot samma värde som börvärdet, illustrerat i figur 3.1 nedan. Som nämnt tidigare beräknas PID-regleringen med hjälp av summan av tre termer som beror på felet.

Felet definieras som skillnaden mellan börvärde och ärvärde, medfört av så kallad återkoppling, där ärvärdet baseras på systemets aktuella utsignal. Process-blocket i figur 1 beskrivs som delen i systemet som ska regleras.

En bra metod för att bestämma tillfredställande förstärkningar är att simulera systemet i Matlab (en matematisk programvara), där en funktion för processen har beräknats genom praktiska tester.

I en autopilot kan börvärdet definieras som kursen som ska hållas, utsignalen är nuvarande kurs, och felet är antal grader båten är ur kurs. Process-blocket skulle i det här exemplet utgöras av ett roder som påverkas av PID-regleringen, samt båten som påverkas av rodet.



Figur 3.1. Grundläggande modell av en PID-reglering i ett system.

Termernas påverkan på systemet kan sammanfattas:

P-termen

P-termen är linjär med felet, vilket betyder att om aktuella felet ökar, ökar också utsignalen. Ökad förstärkning i P-termen innebär en snabbare reglering, vilket medför en ökad risk för översvängning, det vill säga att felet regleras för mycket åt ett håll och blir fel åt andra hållet istället [Åström1995].

I-termen

I-termen baseras på integralen av felet över tid, och är effektiv i hantering av ett kvarstående fel. Till exempel, i en godtycklig marin autopilot ska inte rodret svänga förrän utsignalen överstiger ett visst värde, liknande ett högpassfilter. Om kursvinkelfelet är så pass litet att utsignalen inte överstiger det här värdet, skulle felet aldrig åtgärdas. Implementering av en integrerande del skulle i det här fallet se till att utsignalen över tid blir stor nog att överstiga filtrets gräns [Åström1995].

D-termen

Den deriverande delen är linjär med derivatan av felet över tid och har egenskapen att förutse framtida fel och negera det. Det är ofta nödvändigt i system som har en viss fördröjning; det tar en tid innan systemet regleras till bestämt värde. Till exempel, en båt som har fått svängning måste bromsas tidigare än ögonblicket båten är riktad mot rätt kurs, här krävs det alltså att systemet förutser framtiden för att översväng ska undvikas [Åström1995].

3.5 Androidapplikation

Android baseras på Java och är en av de största operativsystemen riktad mot hemelektronik, det vill säga smarttelefoner och surfplattor, med mera. Det som gör plattformen unik är hur lätt det är för utvecklare att anpassa sin kod att bli kompatibel med olika enheter och hårdvara [Morris2011].

3.5.1 Aktivitet

Aktiviteter är det som användaren ser och kan interagera med. Gränssnittets utseende i aktiviteten kan bland annat skapas genom att skriva XML-kod i en layout-fil eller genom att direkt programmera i Java. Applikationer består oftast av flera aktiviteter som användaren kan navigera mellan [Morris2011a].

Ett fragment är en del av en aktivitet. Flera fragment kan kombineras för att bilda multipla fönster i samma aktivitet. Fragment kan beskrivas som en sub-aktivitet då fragmentet har sin egen livscykel och egna events [Android2011].

3.5.2 Service

En service används om kod önskas exekveras i bakgrunden för att exempelvis tillhandahålla värdefull information till en aktivitet eller en utomstående applikation. Ett exempel på vad en service kan vara användbar till är om en e-postklient behöver göra en koll efter nya meddelanden, men inte vill avbryta användarens interaktion med applikationen. Om kontroll efter ny e-post görs i en service, sker kontrollen i bakgrunden. Användaren kan då fritt använda applikationen för att skriva ett nytt e-postmeddelande utan att bli avbruten [Burd2012].

4 Utförande

Det här kapitlet beskriver utförandet av projektet, vad som gjordes och varför, i kronologisk ordning. Inledningsvis förklaras planeringen och byggandet av ett fäste för styrmekanismen, sedan förklaras val av hårdvarukomponenter, och slutligen utvecklandet av en androidapplikation.

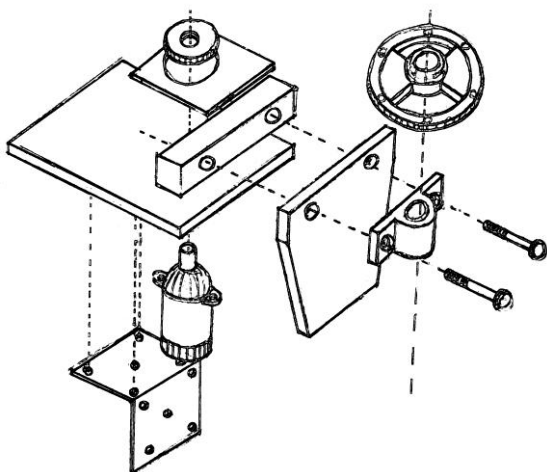
4.1 Fäste och styrmekanism

Som testanordning för projektet används en elmotor av typen MotorGuide, med syftet att driva båten, och kommer refereras som primära motorn. Ett nytt motorfäste konstrueras där styrmekanismen som styr primära motorn integreras. Nedan till vänster i figur 4.1, visas en tidig skiss över testanordningens uppbyggnad. I fortsättningen kommer styrmekanism vara definierat som all styrmekatronik, det vill säga fästet, allt det mekaniska, samt all elektronik som hör till fästet.

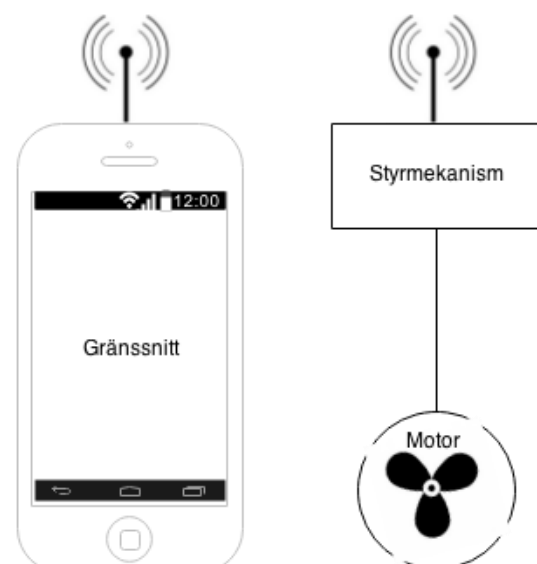
Primära motorns axel placeras genom lagerbocken, och kugghjulet av större modell appliceras på axeln, ovanför lagerbocken.

4.2 Systemdesign

Den grundläggande systemdesignen beskrivs i figur 4.2 nedan till höger. En smarttelefon är verksam som ett gränssnitt till användaren. Anledningen till att en smarttelefon valdes och inte ett plotter är att en stor del av befolkningen idag själva äger en smarttelefon eller har tillgång till en. Dagens mobiltelefoner är mycket kraftfulla och har många sensorer och tekniker som lämpar sig för ett navigationssystem, exempelvis GPS och kompass. Trådlös kommunikation kommer att vara länken mellan gränssnittet och styrmekanismen, på så sätt är telefonen inte låst att vara placerad på en specifik plats i båten.



Figur 4.1. Tidig skiss på utförandet av fästet.



Figur 4.2. Grundläggande systemdesign för autopiloten.

Tre alternativ diskuterades angående hur belastningen ska fördelas mellan applikation och styrmekanism. Figur 4.3 nedan illustrerar strukturen.

I. Applikation med färdvägshantering

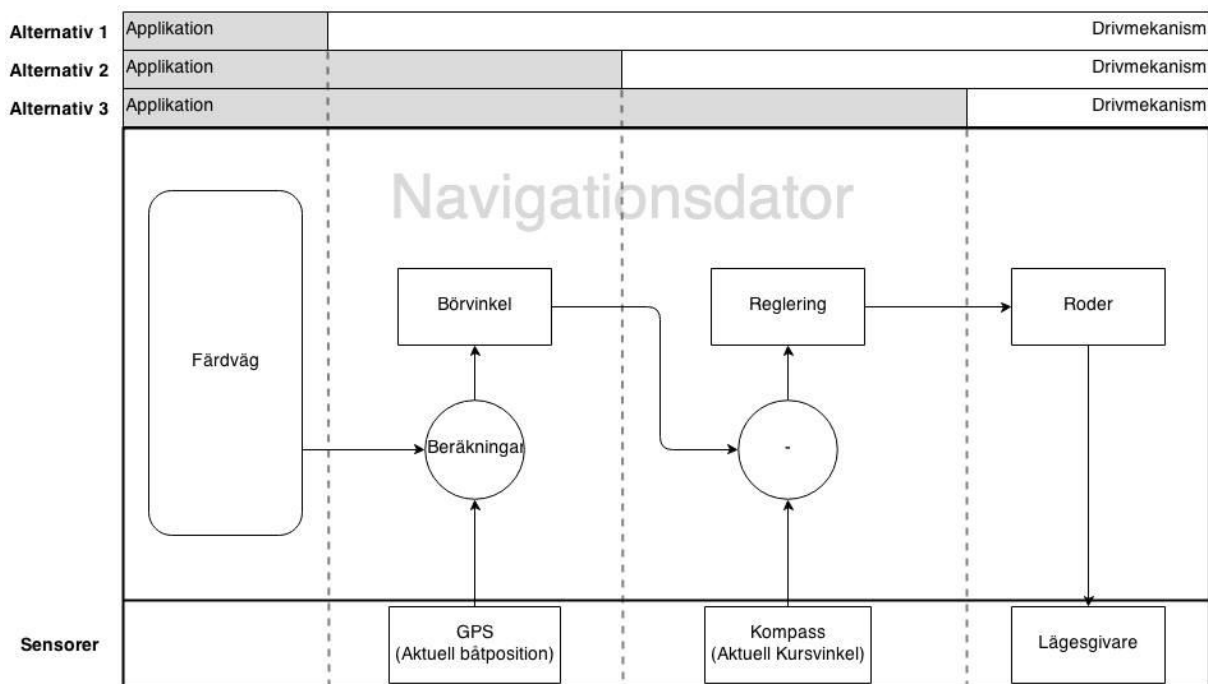
Applikationen tillåter användaren att spara färdvägar samt starta färdvägar. Det innebär att en lista med koordinater är det enda som skickas mellan applikation och styrmekanism. Det innebär också att styrmekanismen är utrustad med sensorer (GPS och kompass) för att sedan genomföra en reglering och styra rodet mot önskad kurs.

II. Applikation som tillhandahåller börvinkel

Till skillnad från alternativ ett, förser här applikationen styrmekanismen kontinuerligt med aktuella börvinklar (båtens börkursvinklar). Det medför att applikationen måste ha tillgång till information om båtens position. Styrmekanismens roll förminskas därmed till att endast jämföra aktuella vinkeln med försedd börvinkel, beräkna reglering och slutligen styra rodet därefter. Aktuella vinkeln tillhandahålls således av en kompass ansluten till styrmekanismen.

III. Applikation med reglering

Det tredje alternativet innebär att kompassinformationen hämtas och hanteras på applikationssidan. Därmed sker reglering på applikationen och en styrsignal skickas vidare till styrmekanismen.



Figur 4.3. Tre alternativ över arbetsfördelning mellan applikation och styrmekanism.

De tre nämnda alternativen går teoretiskt sett att realisera oavsett om GPS och kompass ligger på applikationssidan eller på styrmekanismsidan eftersom dagens smarttelefoner har nödvändiga sensorer inbyggda för ändamålet.

I-pilot, utvecklat av Minn Kota Motor, har en lösning som kan liknas vid alternativ två, med gränssnitt i en fjärrkontroll som användaren kan interagera med.

Slutligen valdes alternativ tre för att det dels skulle göra projektet mer unikt i jämförelse med Minn Kotas i-pilot samt för att det skulle minska antalet hårdvarukomponenter. Ytterligare orsaker som var hårdvarurelaterade fanns till beslutet och kommer förklaras senare.

4.3 Styrmekanism - komponentval

Här beskrivs processen bakom vilka hårdvarukomponenter som valdes till implementering i systemet, uppdelat i två underrubriker: "Mekanik och motor" samt "Digitala komponenter".

4.3.1 Digitala komponenter

Vid val av digitala komponenter fanns det många faktorer att ta hänsyn till. Struktur, belastning på mikrokontroller samt kompatibilitet mellan komponenterna är några av dem.

Mikrokontroller

Vid val av mikrokontroller togs hänsyn till enkelhet och flexibilitet, samt ett tillräckligt antal kommunikations möjligheter till resterande komponenter. En FPGA- eller CPLD-kretskort uteslöts på grund av att det inte ansågs intressant att utveckla mjukvara på låg nivå och för att de ansågs onödigt högpresterande för projektet. En Arduino Uno har många kommunikationsmöjligheter, har stöd för flera av de diskuterade komponenterna, samt går lätt att programmera och testa. Sistnämnda mikrokontrollern blev därför vald.

Trådlös kommunikation

Att använda Bluetooth som kommunikationsmedel var en självklarhet i valet av en trådlös anslutning. Bluetooth besitter flera tillfredställande egenskaper, till exempel är kommunikationsmedlet välkänt, har stöd hos många olika enheter, och en räckvidd på tio meter. Det är tillräckligt för båtar av avsedd storlek. Bluetooth medför också låg strömförbrukning, vilket är fördelaktigt i båtsammanhang.

En Bluetoothmodul vid namn JY-MCU valdes då den är kompatibel med Arduino [Core electronics2012].

Digital kompass

En kompass av modell HMC5883L från Honeywell [Honeywell2011] testades men magnetfältet som omgav styrmekanismen visade sig vara stor nog för att påverka kompassen. Det blev en bidragande faktor till att alternativ tre i systemdesignen valdes, vilket medför att kompass hanteras på applikationssidan. Det resulterar i att också GPS måste hanteras på applikationssidan, om överflödigt kommunikation mellan applikation och styrmekanism ska undvikas.

Rotationsindikator

En rotationsindikator av typen KY-040 från Keyes anslöts till systemet med syftet att tillhandahålla information om sekundära motorns rotation. Rotationsindikatorn skickar 20 pulser per varv roterat, vilket innebär att det med utväxlingen 1:4 (ungefär) till primära motorn sker en puls för varje 4.5 grader rodret roterat. Inget datablad fanns att hitta för KY-040, CTS Electrocomponents har dock tillverkat en liknande rotationsindikator [CTS Electrocomponents2011].

I styrsystemet är det viktigt att processorn inte missar någon puls från rotationsindikatorn eftersom att det skulle innebära felaktig information om rodrets position i systemet, som inte kan korrigeras under körning. Därför kopplades komponenten till två interrupt-pins på mikrokontrollern, vilket innebär att programmet avbryts när det sker en spänningsförändring i någon av de två ingångarna. Det startas en speciell interrupt-metod som inte kan avbrytas. Därefter fortsätter exekvering från senaste position i koden, innan interrupten inträffade.

Magnetsensor

Efter test av rotationsindikator bestämdes att en magnetsensor av märket Keyes skulle implementeras och ersätta rotationsindikatorns funktion. (Det är svårt att hitta datablad från Keyes, en generell beskrivning av komponenten har använts som referens [McComb2013].) Potentiell felräkning som kan ske med en rotationsindikator och medförande belastning på Arduinon ansågs olämplig i systemet. Med byte av rodersensor kan därmed fler funktioner implementeras i Arduinon utan att belasta mikrokontrollern med överdrivet många interrupts.

Genom att använda en magnetsensor som rodersensor behöver endast indikation ske när rodret befinner sig i maximal rodervinkel. Två magneter placeras på primärmotoraxelns kugghjul för att definiera maxutslaget. Tillvägagångssättet med magnetsensor medför istället att styrmekanismen tillhandahålls ett värde som är linjärt mot hur mycket, samt i vilken riktning, rodret ska förflyttas, till skillnad från en rotationsindikator där rodret kan anta en specificerad vinkel.

4.3.2 Mekanik och styrmotor

För att dimensionera komponenterna av testanordningen gjordes beräkningar för att uppskatta vilket vridmoment som krävs för att förflytta motorn till ett läge av maximalt nittio grader med vattenpåverkan. I verkligheten kommer inte ett motorläge av nittio grader vara intressant, men i det här fallet är det relevant att överdimensionera komponenterna. Kraftpåverkan kommer vara som störst på rodret vid nittio graders vinkel från utgångsläget vilket är i linje med båtens centrumlinje.

$$T = S \cdot ((0.4 \cdot b) - a) \cdot V^2 \cdot K \quad (1. \text{ Formel för att beräkna vridmoment på ett roder [AquaFax2014]}).$$

Där:

T = vridmomentet (kgm)

S = total roderarea (m²)

V = hastighet (knop)

b = bredd på roder (m)

a = distans till roderaxel (m)

K = vinkelberoende konstant

$$\begin{aligned}
 T &= (0.1 \cdot 0.35) \cdot ((0.4 \cdot 0.35) - 0.08) \cdot 5^2 \cdot 19.52 \\
 T &= 1.0248 \cdot 9.81 \\
 T &= 10.08 \text{ Nm}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Beräkningar gjordes utifrån ekvation 1 med variabler anpassade för testmotorn, med förutsättningarna att vrida motorn nittio grader i fem knop. Resultatet och beräkningarna ses i ekvation 2 ovan och visar att det krävs ett vridmoment av cirka tio newtonmeter.

I valet av en sekundär styrmotor stod det mellan två olika typer, en stegmotor eller en borstlös dc-motor. En dc-motor av typen RS-550 [All Shenken2014] valdes då det var ett billigare alternativ. Med medföljande växel går det att få ett maximalt vridmoment av femton newtonmeter då motorn körs med en spänning på tolv volt. Resultatet i ekvation 2 är endast en fingervisning av vridmomentet som krävs för att vrida rodret, det skulle därför vara riskabelt att anta att motorn klarar av uppgiften att vrida rodret. Ett annat problem som uppstår då motorn körs på tolv volt är att axel kan nå en rotationshastighet på 550 rpm. Teoretiskt sett, och enkelt räknat, skulle det betyda att motorn flyttar rodret fem grader på 1.5 millisekunder. Se ekvation 3 nedan. Det går då att anta att i verkligheten skulle det fortfarande gå extremt fort att nå en förflyttning på fem grader. För en marin autopilot skulle nämnd roderhastighet vara helt överflödigt och skulle ge mycket slitage på de mekaniska delarna.

$$\frac{60 \text{ s}}{550 \text{ rpm}} \cdot \frac{5^\circ}{360^\circ} = 0.0015 \text{ s}
 \tag{3}$$

Lösningen är att ändra utväxlingen. För testanordningen gjordes en ändring i utväxlingen från sekundärmotor till primärmotorn med 1:4 genom att använda ett 13 och 62 kuggat kugghjul. Ekvation 4 nedan beskriver det nya vridmomentet samt rotationshastigheten på sekundärmotorns axel.

$$\begin{aligned}
 15 \text{ Nm} \cdot 4 &= 60 \text{ Nm} \\
 0.0015 \text{ s} \cdot 4 &= 0.006 \text{ s}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Flera antaganden gjordes angående resultaten i ekvation 4. Ett nytt vridmoment på sextio newtonmeter antas vara mer än tillräckligt för att flytta rodret. Förflyttningshastigheten på rodret i en verklig situation antas fortfarande vara för hög.

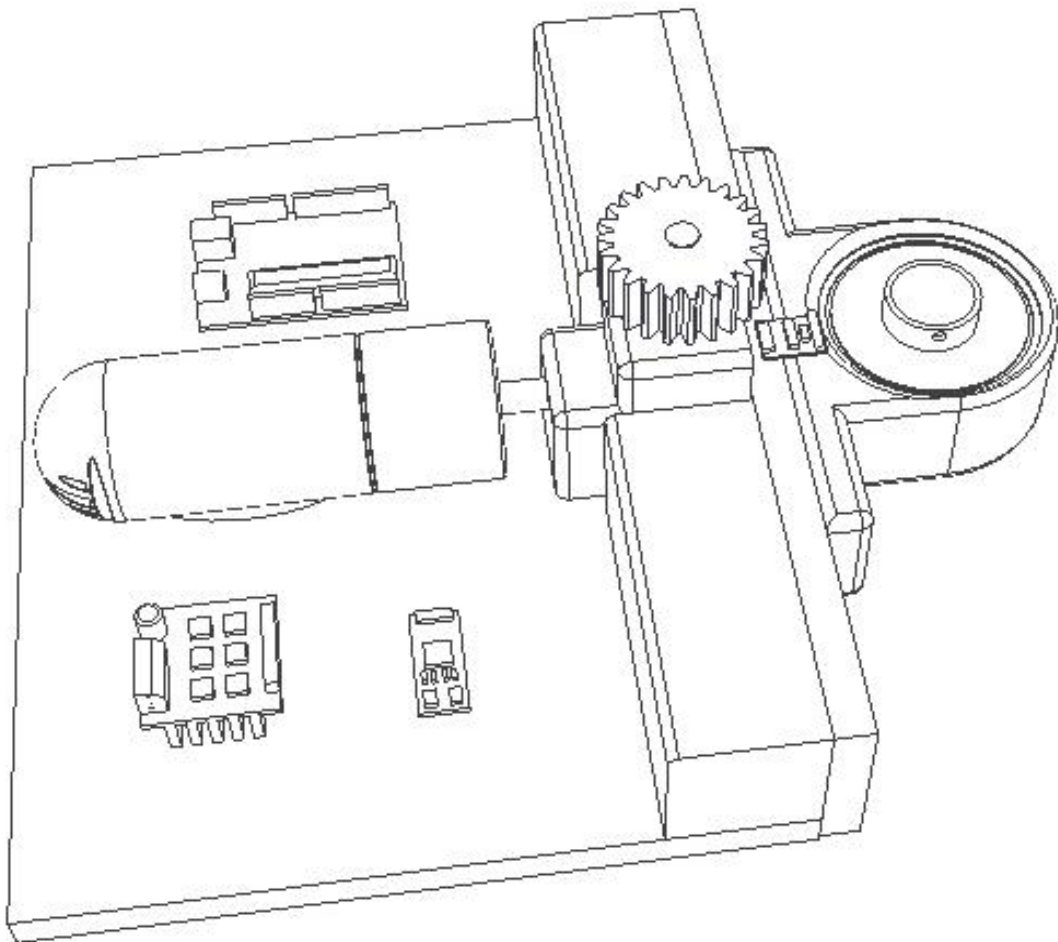
Som lösning antas att det som är vunnet i kraft kan användas i motorkontrollen genom att sänka spänningen till motorn. En spänningssänkning på motorn medför lägre rotationshastighet på rodret, vilket är målet. Det medför en kraftförlust, vilket inte anses vara ett problem då vridmomentet är mycket överdimensionerat.

Valet av motor och vridmomentsberäkningarna gav viktig information om vilken typ av motorkontroller att välja. Kravet var att det skulle vara möjligt att polvända spänningen för att kunna köra styrmotorn fram och bak, det vill säga höger och vänster i praktiken. Det skulle gå att välja hastighet på motorn för att möjliggöra finjustering av kraftmomentet samt rotationshastigheten på det fysiska rodret. Det var också viktigt att styrelektronikens ström och spänning var separerad från styrmotorns.

Motorkontrollen som slutligen valdes klarar av att styra motorer på en spänning mellan noll till trettio volt och en normalström på maximalt trettio ampere och med en strömtopp på maximalt sjuttio ampere. Motorhastigheten kontrolleras via PWM(Pulse Width Modulation). Polvändning för motorn var också möjlig [UCTronic2012].

I praktiken uppstod ett konstruktionsproblem då lagerbocken glappade med cirka tre millimeter. I konstruktionen där kraftöverföringen mellan styrmotorn och primärmotorn var fäst högt upp på primärmotoraxeln blev glappet ungefär dubbelt så stort vilket resulterade i instabilitet då motorn skulle styras. Problemet löstes genom att flytta kraftöverföringen mycket närmare lagerbocken. Det gjordes genom att placera styrmotorn horisontellt istället för vertikalt och använda en vinkelväxel med utväxling 1:1 för att uppnå samma princip som tidigare.

Nedan i figur 4.4 visas en illustration av komponentvalens placering och det nya mekaniska utförandet.



Figur 4.4. Illustration av komponentval för styrmekanism. Ovan motor: mikrocontroller, nedan till vänster: motorkontroller, nedan till höger: bluetoothmodul, vid kugghjul: magnetsenor.

4.4 Mjukvara

Systemdesignen medför utveckling av mjukvara till två plattformar. Applikationen till telefonen programmeras för Android, där anledningen till valet är baserat på erfarenheter i androidprogrammering samt plattformens popularitet. Som nämnt tidigare valdes en Arduino Uno som mikrokontroller i styrmekanismen. Därav programmeras mikrokontrollern med Arduinos programmeringsspråk.

4.4.1 Androidapplikation

Första steget i utvecklingen av androidapplikationen var att skriva en fristående testapplikation, där målet var att testa hela hårdvarusystemet. Det gjordes genom att koda en manuellstyrning av motorn, där telefonen fick agera ratt, med hjälp av det inbyggda gyroskopet. Datan från gyroskopet översattes till styrsignaler som skickades från telefonen till styrmekanismen via en Bluetooth-anslutning.

Den manuella styrningen var mycket användbar under testning och implementerades senare som en funktion i applikationen. Utöver manuella styrningen och underliggande funktioner, fanns följande punkter att ta hänsyn till och implementera.

- Spara färdväg
- Visa lista över färdvägar som sparats
- Reglera styrsignal via kompass, GPS och färdväg

De ovanstående tre funktionerna implementerades tillsammans med två extra funktioner, i form av en geografisk karta som grafiskt visar färdvägen och en extra bildvy som ger information om färdvägen, till exempel längden.

4.4.2 Navigationsdator

Navigationsdatorn i applikationen utgörs av en logikdel, vilket är en service som startar när en färdväg ska följas. Logikens uppdateringsfrekvens beror på kompassens konstanta uppdateringsfrekvens, med anledning av att beräkningarna i metoden kräver ny data för nya resultat. Under uppdateringen sker förutom reglering, en kontroll av aktuell position gentemot närliggande waypoints för att bestämma målwaypoint. För att avgöra det måste hänsyn tas till vilken riktning färdvägen ska köras, dessutom måste en waypoint väljas som är ett visst avstånd framför aktuella positionen.

I teorin skulle det fungera att välja en målwaypoint som bara är en meter framför aktuell position, men med tanke på att det ibland förekommer otillförlitlig precision från GPS och kompass, väljs en målwaypoint längre fram i färdvägen på ett större avstånd. Dessutom är det onödigt att reglera för att anpassa båtens kurs mot en koordinat som är lokaliserad precis framför båten då minsta fel av förflyttning i sidled skulle innebära reglering med stort roderutslag som resultat.

4.4.3 Mjukvara för styrmekanism

Arduinokod innehåller alltid två grundmetoder: *setup* respektive *loop*. *Setup* körs alltid före *loop* och används därför till att initiera programmet, till exempel definiering av pin-konfiguration samt instansiering. Därefter körs *loop* kontinuerligt tills programmet stoppas, såvida koden inte är programmerad på annat sätt.

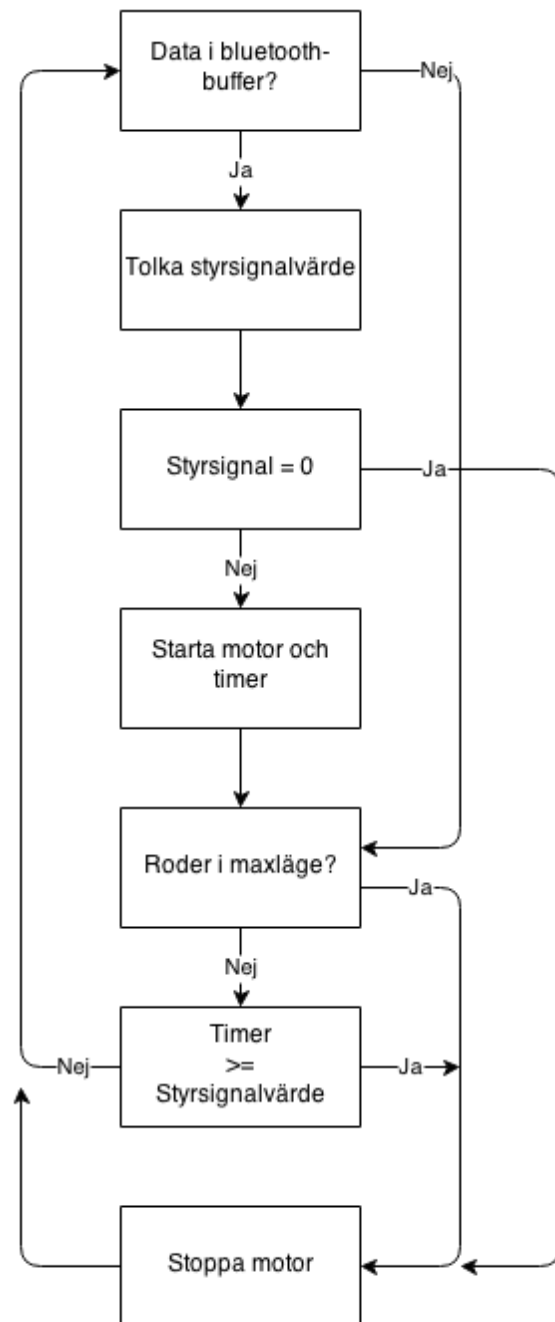
Valt tillvägagångssätt kräver att Arduinon:

- Hämtar styrsignaler från androidapplikationen via Bluetooth. Styrsignalerna är linjära med hur mycket rodret ska flyttas i en specifik riktning.
- Blir tilldelad information angående händelsen att rodret antar ett maxläge.
- Styr motorn med hänsyn till samlad data.

Det bestämdes att värdet på styrsignalen som erhålls från applikationen ska motsvara antal tiondels sekunder som rodret ska styras. Värdets tecken bestämmer riktningen som rodret ska förflytta sig i.

Loopen programmerades så att en kontroll av Bluetooth-buffern sker först. Hittas data så tolkas det som en styrsignal, följt av att motorn startas i angiven riktning. I det fallet att motorn redan körs åt angivna riktning, fortsätter styrningen. Ett styrvärde av värdet noll är definierat som stopp av motor. I slutet av loopen kontrolleras om motorn har varit igång i avsedd tid, där följderna är att motorn stoppas. Om planerade tiden för motorn att vara i rörelse inte hinner bli noll innan nästa styrsignal tas emot, glöms resterande tid och byts ut mot det nya värdet.

Magnetsensorn ersatte, som nämnt tidigare, rotationsindikatorn som rodergivare. Ändringen innebar att endast en pin på Arduinon lästes av istället för två, och eftersom det är max styrläge till vänster respektive till höger som ska indikeras, krävs mjukvara som kontrollerar vilket håll rodret flyttas när magnetsensorn triggas.



Figur 4.5. Flödesschema som illustrerar Arduinokodens loop.

4.5 Testning av prototyp

I slutskedet gjordes ett antal praktiska tester av hela systemet. Testerna utfördes med en fyra meter lång båt. På grund av väderförhållandena utfördes testerna i en å, istället för ute på sjön, som var tanken.

Syftet med första testet var att kontrollera om fästet klarade av de yttre påfrestningarna som uppstår i ett verkligt scenario. Det utfördes genom att använda applikationens manuella styrning för att ge fullt roderutslag åt båda riktningar med en hastighet på fem knop.

Andra testet gick ut på att försöka finna tillfredsställande värden till PID-regleringen under självstyrning. Inställningar på förstärkning till termerna valdes proportionerligt till värden från tidigare erfarenheter i Matlab. Svåra förhållanden var en bidragande faktor till kraftiga översvängningar och gjorde regleringen alltför komplex, vilket slutligen resulterade i uteslutning av den integrerande delen, regleringen under testning blev alltså av typen PD.

5 Resultat

Resultatet är en körbar autopilotprototyp byggd med enkla medel för mindre båtar och utombords elmotorer. Se bild 3 för en illustration av prototypen. Kapitlet delas upp i tre huvuddelar: androidapplikationens gränssnitt samt navigationsdator, och styrmekanismen.

5.1 Gränssnitt

Androidapplikationen fungerar som plotter och navigationsdator. Gränssnittet utgörs av sex olika aktiviteter, figur 5.1 till höger beskriver strukturen över aktiviteterna. I bilaga A kan gränssnittet följas med faktiska skärmbilder från applikationen.

Första aktiviteten användaren når är startskärmen där två alternativ kan väljas, att gå vidare till autopilot eller att gå vidare till manuell styrning.

Manuell styrning

Väljs manuell styrning kan användaren styra båten höger eller vänster genom att titta på telefonen. Smarttelefonens gyroskop tolkar lutningen och avgör om båten skall svängas höger eller vänster. Vid exempelvis lutning åt höger skickas styrsignaler över Bluetooth till styrmekanismen. Primära motorn kommer då att förflyttas i konstant fart i motsvarande riktning tills det att telefonen hålls i neutralt läge eller tillas åt vänster.

Färdvägslista

I färdvägslist-aktiviteten visas en lista på redan existerande färdvägar som spelats in. Det är också möjligt att skapa en ny färdväg genom att gå vidare till ”skapa färdväg”-aktiviteten, eller ta bort en redan existerande färdväg. Om användaren väljer en redan existerande färdväg kommer information för färdvägen att visas och möjlighet till att starta autopiloten ges.

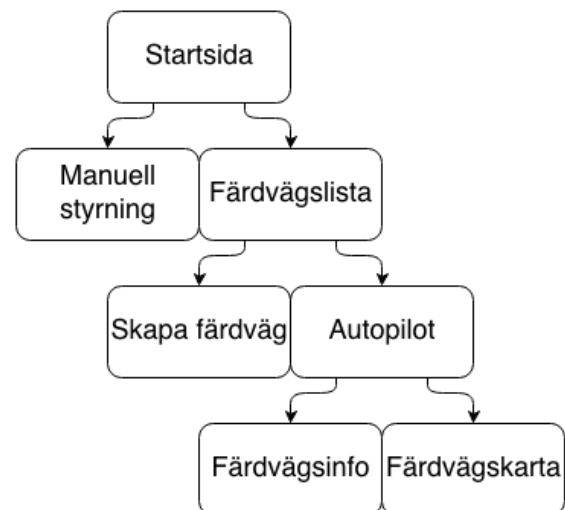
Skapa färdväg

Skapa färdväg visar en geografisk karta över området där användaren befinner sig. Här ges möjligheten att starta inspelning av färdväg. Då inspelningen startas visas inspelningen i realtid på kartan. Då inspelningen stoppas, sparas färdvägen i telefonens minne.

Medan färdväg sparas är det möjligt att aktivera manuell styrning.

Autopilot

Autopilot-aktiviteten består av två tabbar (fragment): färdvägsinformation och karta, som är möjliga att skifta mellan. Färdvägsinformationen visar namn, beskrivning, längd och typ av färdväg. Här finns alternativet att starta autopiloten. Kartvyn visar en geografisk karta där färdvägen har plottats ut och en markering för vart båten befinner sig i realtid.



Figur 5.1. Flödesschema över hur navigation är möjlig i applikationen.

5.2 Navigationsdator

Navigationsdatorn är integrerad i androidapplikationen och skickar styrsignaler till styrmekanismerna via Bluetooth. Styrsignalerna skickas med en frekvens på maximalt en gång per sekund, och är reglerade med hänsyn till sensorer inbyggda i smarttelefonen.

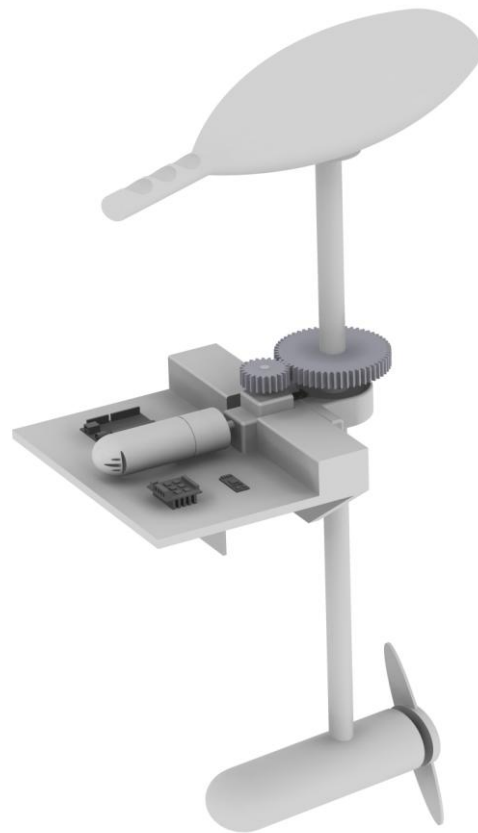
Eftersom kompassvärde hämtas i smarttelefonen, krävs det att telefonen riktas mot färdriktningen i autopilot-läge. När automatisk styrning startas, startar också logiken som sköter regleringen. Vid uppstart när en färdväg ska följas, hittas närmaste punkt till färdvägen från båten sett, och styrning mot koordinaten börjar. När nästa waypoint är inom ett specifikt avstånd från båten, ersätter den nya waypointen den gamla och blir ny målkoordinat.

Vad som definieras som nästa waypoint beror på vilken färdvägsriktning som valts.

Testningen av självstyrningen visade att det med en PD-reglering är möjligt att köra efter en färdväg. En avvikelse från färdvägen på cirka två till tre meter förekom på grund av översvängningar, vilket resulterade i en färd liknande en sinuskurva. Implementering av integrerande del i regleringen kändes därför överflödigt då det var omöjligt att utläsa om kvarstående fel ens förekom.

5.3 Styrmekanism

Styrmekatroniken utgörs av en elmotor, motorväxel, vinkelväxel och två kugghjul för styrkraftöverföringen till primärmotorn. Styrmekatroniken styrs av styrelektroniken som består av en motorkontroller, lägesensor, Bluetoothmodul och mikrokontroller. Under testningen har styrmekanismerna körts i cirka tio timmar utan större problem. Det förekom slitage vid vinkelväxels fäste men principiellt så fungerar det mekaniska utförandet. Testerna bekräftade att det som antogs under vridmomentsberäkningarna stämde. Primärmotorn vrids med en tillfredställande hastighet med önskad precision.



Figur 5.2. CAD-Illustration av komplett prototyp

6 Diskussion

Det kan diskuteras hur lämpligt vald systemdesignen är avseende placeringen av navigationskritiska moment, vilka nu hanteras i en smarttelefon, där information överförs trådlöst.

Till skillnad från Minn Kotas autopiloter sköts regleringen inte i en extern enhet. Fördelarna med Minn Kotas lösning är att systemet troligtvis blir mer stabilt och säkert eftersom styr signaler inte behöver gå över en trådlös länk eller bli störda av andra aktiviteter som kan tänkas finnas på en telefon.

I en systemdesign likt det här projektet kompromissas däremot säkerhet och stabilitet. Men det som förloras i stabilitet och säkerhet vinnas i ett mycket mer dynamiskt och anpassningsbart system. Eftersom små båtar i lägre hastigheter inte kräver lika mycket precision och säkerhet som stora eller snabbgående båtar, så ansågs utveckling av ett dynamiskt system mer intressant. Det här ger upphov till viktiga etiska frågeställningar och det är något som bör tas upp för framtida utveckling.

6.1 Styrmekanism

Ökad kunskap inom elektronik skulle dragit ned på komponentkostnader och hade kunnat erbjuda bättre systemdesign på styrmekanismsidan. Valt tillvägagångssätt ökade dock flexibiliteten under utvecklingens gång.

Val av motor som drivenhet för primär motor kan diskuteras. Det troligtvis optimala valet av styrmotor hade varit en stegmotor. Stegmotorn hade medfört att ett mycket precist samband mellan motorsteg och rodervinkel kunnat uppnås.

Slutliga tillvägagångssättet för att bedöma läget på primärmotorn blev en magnetsensor. Till skillnad från rotationssensorn som näst intill kunde bedöma en exakt position av primär motorn, så begränsades bedömningen till att endast ha vetskap om maximalt roderutslag, men gav en säkerhet att aldrig kunna styra rodret utöver maximalt roderutslag. Egentligen är ingen av lösningarna bra, utan flyttade bara tillhörande problem till en ny plats i systemet. Implementering av magnetsensor innebar till exempel till en mer svårinställd reglering, medfört av icke existerande information angående rodrets position.

Det mest önskvärda alternativet hade varit kombinationen av rotationssensorns lägesexakthet med magnetsensorns säkerhet. Ett sätt att uppnå det här, som är något för en eventuell framtida fortsatt utveckling är att använda sig av en stegmotor, kombinerat med en magnetsensor för kalibrering och maxlägesbestämning.

Att använda en Arduino Uno som styrenhet för elektromekaniken har fungerat över förväntan och visar på att det faktiskt är möjligt att skapa en marin autopilot med enkla medel. Möjligtvis kan prestandan vara ett problem, men eftersom den fysiska svängningen av båten är så pass långsam bidrar det till att det digitala styrsystemet inte belastas. Ett problem med prestanda undveks dock under val av sensorer, där rotationsindikatorn nästan överbelastade Arduinon med interrupts.

6.2 Kontroll och gränssnitt

Minn Kota Motors i-pilot som tidigare nämnts, har en tvådelad systemdesign som liknar autopiloten utvecklad i projektet, med fjärrkontroll och styrmekanism.

I-pilots fjärrkontroll använder, till skillnad från en smarttelefon, hårdvaruknappar till all interaktion från användaren. En nackdel med att istället använda en smarttelefons pekskärm till sjöss på det här sättet är att vatten på skärmen kan försvåra knapptryck. Dock har i princip alla smarttelefoner ett antal hårdvaruknappar också, vilka kan implementeras till att hantera viktigare kommandon, så som att stänga av motorn helt. Positivt med pekskärm är också att det medför dynamisk interaktion, så att knappar i gränssnittet kan anpassas till vyn som för tillfället visas.

Andra nackdelar med att använda en smarttelefon i systemet är strömförsörjning samt avbrott. Strömförbrukningen ökar drastiskt med GPS:en på samt nedladdning av kartor, och laddning av telefonen kan vara svårt på mindre båtar som projektet avser, där möjligheten sällan erbjuds. En lösning av laddare till telefonen skulle kunna implementeras, där telefonen får ström från primära motorns batteri. Avbrottsproblem kan vara i form av telefonsamtal eller en service som inte tillhör autopilot-applikationen. Telefonsamtal avbryter dock inte automatisk styrning, men eftersom telefonen alltid måste riktas mot färdriktningen när autopilot är igång, kan förslagsvis högtalarfunktion användas.

I-pilots applikation är unik för deras specifika produkt, vilket försämrar anpassningsbarhet och utvecklingsfrihet. Totalt sett är applikationens användargränssnitt utvecklad i det här projektet bättre jämfört med i-pilots, med betydligt större skärm med högre upplösning och färger, näst intill obegränsat fysiskt minne till ändamålet, dynamisk interaktion, lättare versionshantering, samt obegränsade utvecklingsmöjligheter.

Ses implementationen av en smarttelefon i miljösynpunkt innebär det att en redan väl etablerad produkt, så som en smarttelefon, återanvänds till något nytt, och komponenter så som GPS, kompass, plotter och så vidare inte behöver specialtillverkas för ändamålet.

6.3 Planering

Skillnaden i planering vid projektets början och hur den faktiska arbetsgången gick till, är huvudsakligen inte så stor. Ett mål som sattes vid ungefär halva projekttiden var att kunna styra motorn manuellt med applikationen vilket uppfylldes tidigare än väntat. Det resulterade i en testfas där hårdvara och mjukvara överlappade varandra under projektets halvtid. Den komponentspecifika planeringen uppfylldes inte riktigt som planerat då det inte tog så lång tid för vissa komponenter att implementeras, men det var samtidigt positivt att det tog mindre tid än planerat. En annan faktor var att vissa komponenter blev försenade i leveransen.

Referenser

All Shenken Chengfang Electric Machine CO, LTD. (2014). *RS-550/555A Drill motor*. Tillgänglig från: <http://pdf.directindustry.com/pdf/shenzhen-chengfang-electric-machine-co-ltd/rs-550-555a-drill-motor/86869-264421.html>; nedladdad 11/6 2014.

Android. (2011). *Fragments*. Tillgänglig från: <http://developer.android.com/guide/components/fragments.html>; nedladdad 22/5 2014.

Aquafax. (2014). *How To Calculate the Rudder Torque of your Boat*. Tillgänglig från: <http://www.aquafax.co.uk/images/aceimages/PDF%27s/HowtoTorque.pdf>; nedladdad 18/5 2014.

Arduino. (2014). *Introduction*. Tillgänglig från: <http://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#.UxNRQ2EyzDQ>; nedladdad 19/5 2014.

Barry Burd. (2012). Services. In: *Android Application Development All-in-One For Dummies*. North America: John Wiley & Sons, Inc.

Brown, S and Rose, J. (2000). *Architecture of FPGAs and CPLDs: A Tutorial*. Tillgänglig från: www.eecg.toronto.edu/~jayar/pubs/brown/survey.pdf; nedladdad 19/5 2014.

Core electronics. (2012). *JY - MCU Bluetooth to UART Wireless Serial Port Module for Arduino*. Tillgänglig från: <https://core-electronics.com.au/store/attachments/guides/Product-User-Guide-JY-MCU-Bluetooth-UART-R1-0.pdf>; nedladdad 12/6 2014.

CTS Electrocomponents. (2011). *Data Sheet Rotary Encoder*. Tillgänglig från: <http://www.ctscorp.com/components/datasheets/288.pdf>; nedladdad 19/6 2014.

Daintith, J and Wright, E. (2008). XML. In: *A Dictionary of Computing*. 6th ed. Oxford: Oxford University Press.

Daintith, J and Wright, E. (2008a). Java. In: *A Dictionary of Computing*. 6th ed. Oxford: Oxford University Press.

Dan Blacharski. (2014). *What is a Microcontroller?*. Tillgänglig från: <http://www.wisegeek.org/what-is-a-microcontroller.htm>; nedladdad 19/5 2014.

Ekblad, J (2008). *Navigator boken -om navigering med plotter och gps*. Bromma: Bilda Förlag. p7.

Flotecmarin. (2014). *Hur man väljer rätt autopilot till sin båt*. Tillgänglig från: <http://www.flotecmarin.se/hur-man-valjer-ratt-autopilot-till-sin-bat-a-28.html>; nedladdad 18/5 2014.

Flotecmarin. (2014a). *Hur fungerar en autopilot*. Tillgänglig från: <http://www.flotecmarin.se/hur-fungerar-en-autopilot-a-29.html>; nedladdad 23/5 2014.

Honeywell. (2011). *3 - Axis Digital Compass IC*. Tillgänglig från: <http://dlmnh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/Magneto/HMC5883L-FDS.pdf>; nedladdad 19/5 2014.

Lindén, M (2002). *Handbok i GPS -Praktisk navigering till sjöss och på land*. Trelleborg: Berlings Skogs AB. p22-23.

Lindén, M. (2002a). *GPS-Systemet*. In: *Handbok i GPS -Praktisk navigering till sjöss och på land*. Trelleborg: Berlings Skog AB. p25-31.

McComb, G (2013). *Reed Switch Arduino Demo*. Tillgänglig från: <http://learn.parallax.com/reed-switch-arduino-demo>; nedladdad 16/6 2014.

MEDER electronic, (2014)

Reed switch characteristic. Germany: Meder electronic, p.20. Tillgänglig från: http://www.meder.com/fileadmin/meder/pdf/en/The_Basic_Reed_Switch.pdf; nedladdad 6/5 2014.

Minn Kota. (2011). *i-Pilot*, p.1. Tillgänglig från: http://www.minnkotamotors.com/_docs/2012%20Catalog%20-%20i-Pilot.pdf; nedladdad 23/5 2014.

Morris, J (2011). *Android User Interface Development: Beginner's Guide*. Birmingham: Packt Publishing Ltd.. 14.

Morris, J (2011a). *Android User Interface Development: Beginner's Guide*. Birmingham: Packt Publishing Ltd.. 24.

Raymarine Autopiloter. (2013). *Raymarine.eu*, p.2. Tillgänglig från: http://www.google.se/urlsa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0CFgQFjAG&url=http%3A%2F%2Fraymarine.eu%2FWorkArea%2FDownloadAsset.aspx%3Fid%3D6764&ei=dhNmU6WQDoyO7QbQzIHQCA&usg=AFQjCNFt91PD7SPERXYCUBJ1fteO-zTJQ&sig2=YQ3jw_75rpS-sPyrUjHVwQ; nedladdad 5/5 2014.

Raymarine UK Ltd. (2014). *Evolution Autopilot*. Tillgänglig från: <http://www.raymarine.com/view/?id=7008>; nedladdad 12/5 2014.

Raymarine. (2014a). *Raymarine RayRemote*. Tillgänglig från: <http://www.raymarine.com/view/?id=3945>; nedladdad 22/5 2014.

Raymond E. Frey. (2000). *Memories and Processors*. Tillgänglig från: www.zebu.uoregon.edu/~rayfrey/432/notes7.pdf; nedladdad 15/5 2014.

Roberts, G.N. (2008). *Automatic ship steering*. In: Trends in marine control systems. United Kingdom: Elsevier Ltd.

Schlaefel, A; Blaurock, O (2011). *Robotic Sailing*. Berlin: Springer. 5.

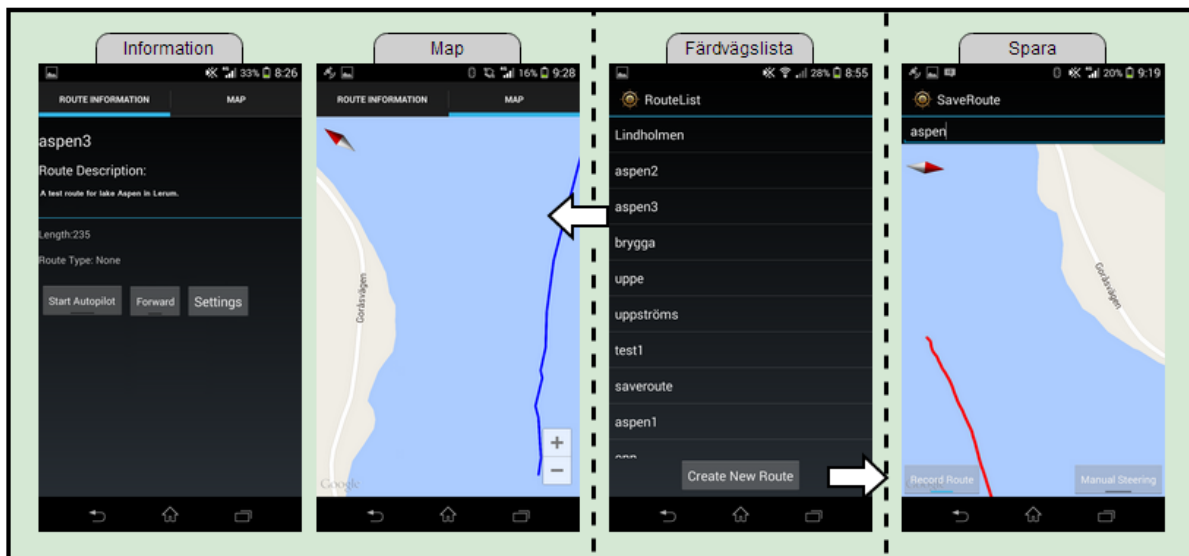
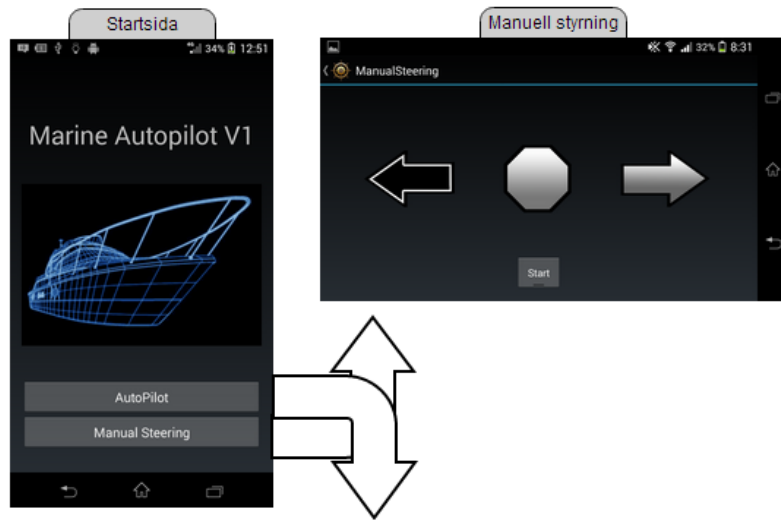
Texas Instruments. (2008). *Brushless DC Motor Controller*, p.1. Tillgänglig från: <http://www.ti.com.cn/general/cn/docs/lit/getliterature.tsp?genericPartNumber=uc2625-ep&fileType=pdf>; nedladdad 15/5 2014.

Thompson, R.B. and B.F (2003). *PC Hardware in a Nutshell*. 3rd ed. Sebastopol, USA: O'Reilly Media. p145.

UCTronic. (2012). *30A Single H bridge motor driver module PID for Arduino*. Tillgänglig från: <http://www.uctronics.com/30a-single-bridge-motor-driver-module-pid-for-arduino-p-1105.html>; nedladdad 11/6 2014.

Åström, KJ; Hägglund, T (1995). *PID Controllers - Theory, Design, and Tuning*. 2nd ed. USA: Instrument Society of America. 64-69.

Bilaga A, Skärmbilder från applikation



Bilaga B, Gantt-schema

