

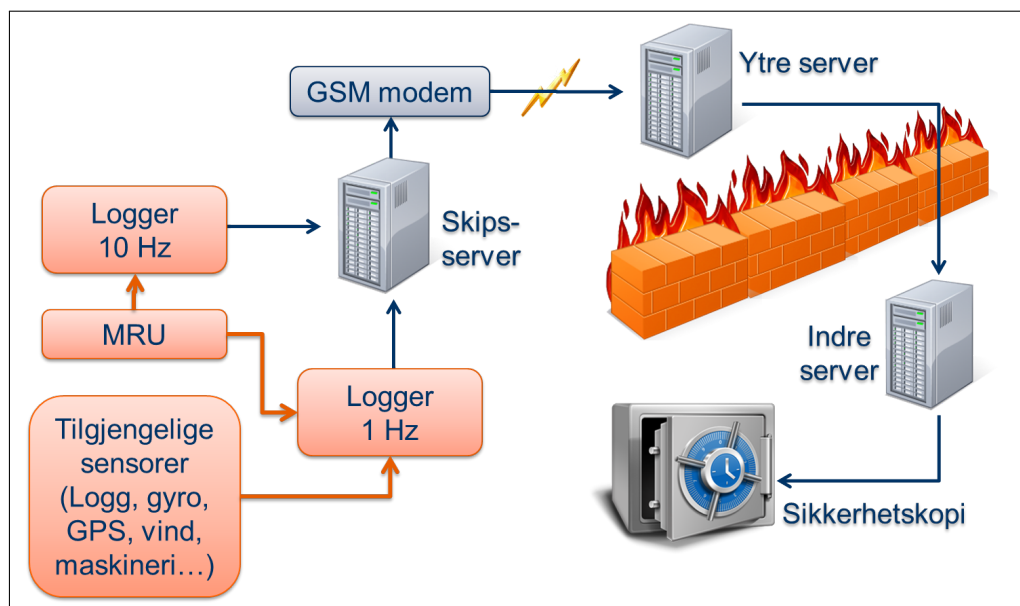
Rapport

ImproVEDO åpen rapport

Åpne resultater fra KMB-prosjektet ImproVEDO

Forfatter(e)

Karl-Johan Reite, Jarle Ladstein, Lars Tandle Kyllingstad



SINTEF Fiskeri og havbruk AS

Postadresse:
Postboks 4762 Sluppen
7465 Trondheim
Sentralbord: 40005350
Telefaks: 93270701

fish@sintef.no
www.sintef.no
Foretaksregister: NO 980 478 270 MVA

EMNEORD:

Fartøy, design, operasjon,
beslutningsstøtte, analyse

Rapport

ImproVEDO åpen rapport

Åpne resultater fra KMB-prosjektet ImproVEDO

VERSJON	DATO
1.0	24. juni 2016

FORFATTER(E)
Karl-Johan Reite, Jarle Ladstein, Lars Tandle Kyllingstad

OPPDRAKSGIVER(E)	OPPDRAKSGIVERS REFERANSE
Norges Forskningsråd, Rolls-Royce Marine, Fiskeri- og havbruksnæringens Forskningsfond	199570


PROSJEKT	ANTALL SIDER OG VEDLEGG
ImproVEDO	22

SAMMENDRAG

Prosjektet ImproVEDO har hatt som hovedmål å utvikle metoder og verktøy for å redusere energibruken i den norske skipsflåten. Prosjektet har utviklet metoder og verktøy som fokuserer på både drift og design. Resultatene fra prosjektet er tatt i bruk i flere andre prosjekt og har hatt industriell verdi.

Denne rapporten beskriver kort hva som er gjort i prosjektet. Hovedfokus i prosjektet har vært utvikling av KPI'er for fiskefartøy, programvare for logging, aggregering og analyse av operasjonelle data (STIM, Rataosk) og programvare for beslutningsstøtte for design av fartøy (MachOS). Dette er kort beskrevet i rapporten, for mer utførlig beskrivelse av programvare henvises det til den enkelte programvarens dokumentasjon og til KPI-definisjonene i separat regneark.

En sentral del av prosjektet har vært å benytte verktøy utviklet i prosjektet til innhenting og analyse av operasjonelle data fra tråleren M/S Prestfjord. Dataene og analysen av disse dataene er presentert i SINTEF rapport F27593 "ImproVEDO detaljert rapport".

UTARBEIDET AV	SIGNATUR
Karl-Johan Reite	

KONTROLLERT AV	SIGNATUR
Lars Tandle Kyllingstad, Jarle Ladstein	

GODKJENT AV	SIGNATUR
Hanne Digre	

RAPPORTNUMMER	ISBN
A27720	978-82-14-06089-8

GRADERING	GRADERING DENNE SIDE
Åpen	Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	24.06.2016	Endelig versjon

Innhold

1	Bakgrunn og målsettinger for prosjektet	4
2	Kort oppsummering av resultater	4
2.1	Anbefalinger og strategier for innhenting av operasjonelle data fra fartøy.	4
2.2	System for systematisk aggregering av operasjonelle data.	4
2.3	<i>Key Performance Indicators</i> for optimal drift av fartøy.	4
2.4	System for beslutningsstøtte innen skipsdesign.	5
2.5	System for operasjonell beslutningsstøtte.	5
3	WP 1: Anbefalinger og strategier for innhenting av operasjonelle data fra fartøy.	5
3.1	Fartøy, utstyr og målinger	5
3.2	Systemarkitektur	5
3.3	Versjoner og historikk for loggesystemet	6
4	WP 2: System for systematisk aggregering av operasjonelle data.	7
5	WP 3: <i>Key Performance Indicators</i> for optimal drift av fartøy.	8
5.1	Kategorisering av indikatorer	8
5.2	Eksempel: KPI 3.1.8 – Fuel Consumption vs Flow through Trawl	9
6	WP 4: System for beslutningsstøtte innen skipsdesign.	9
6.1	Optimaliseringsmetoder	10
6.2	Komponentmodeller	11
6.3	MachOS	12
7	WP 5: System for operasjonell beslutningsstøtte.	12
7.1	STIM Analyzer komponenter	13
8	PhD-arbeid: Styring og regulering av isolerte energisystemer	14
8.1	PhD-avhandling	14
8.2	Vitenskapelige artikler	15
8.3	Konferansebidrag	16
9	Postdoktorarbeid: Design av marine strukturer ved hjelp av morfing	18
9.1	Vitenskapelige artikler	18
9.2	Konferansebidrag	19
10	Betydning av prosjektet	20
11	Videre arbeid	21
A	Programvareleveranser	21

VEDLEGG

KPI-definitions.xlsx

1 Bakgrunn og målsettinger for prosjektet

Hovedmålet for prosjektet er å redusere energiforbruket i den norske skipsflåten. For å oppnå dette har prosjektet fokusert på å utvikle metoder og verktøy innen både drift og design av fartøy. Mer spesifikt kan delmålene oppsummeres gjennom arbeidspakkene i prosjektet, som har vært:

- Anbefalinger og strategier for innhenting av operasjonelle data fra fartøy.
- System for systematisk aggregering av operasjonelle data.
- *Key Performance Indicators* for optimal drift av fartøy.
- System for beslutningsstøtte innen skipsdesign.
- System for operasjonell beslutningsstøtte.

2 Kort oppsummering av resultater

2.1 Anbefalinger og strategier for innhenting av operasjonelle data fra fartøy.

Ulike verktøy og metoder for innhenting av operasjonelle data har blitt vurdert. Både kommersielt tilgjengelige og egenutviklede løsninger har blitt utprøvd, og basert på disse erfaringene valgte man å basere systemet på standarder og verktøy tilgjengelig som åpen kildekode. Spesifikt har det blitt bygget opp et system med følgende hovedkomponenter:

Integrasjon mot skipssystem: Dette er delvis basert på fritt tilgjengelige bibliotek, delvis har nødvendig funksjonalitet blitt utviklet i prosjektet.

Kommunikasjon internt på fartøy: Dette er basert på *Data Distribution System*, som er en åpen standard for publisering av og abonnering på informasjon. Dette systemet er valgt fordi det samtidig som det er svært effektivt også gjør det enkelt for andre aktører å kople seg til fartøyets sensorer og systemer.

Resultatene fra denne arbeidspakken er allerede tatt i bruk i flere andre forskningsprosjekt.

2.2 System for systematisk aggregering av operasjonelle data.

I denne arbeidspakken har det blitt vurdert hvordan data innsamlet lokalt på fartøyet kan overføres til land og aggregeres der, underlagt ønsker om kostnadseffektivitet og datasikkerhet. Når fartøyet kommer innen mobilnettets dekningsområde overføres dataene til en landbasert server. Med jevne mellomrom hentes dataene inn til en ny server som ikke kan nås fra internett, og herfra tas det periodisk sikkerhetskopier. Resultatene fra denne arbeidspakken er allerede tatt i bruk i flere andre forskningsprosjekt.

2.3 *Key Performance Indicators* for optimal drift av fartøy.

Det eksisterer et utall av muligheter for hvordan man kan beskrive et fartøys ytelse, både relatert til drift og design. Det er i prosjektet utviklet en mengde måltall som beskriver slike aspekt, i form av indikatorer for nøkkelytelse – *Key Performance Indicators* (KPI).

2.4 System for beslutningsstøtte innen skipsdesign.

Prosjektet har utforsket bruk av numeriske optimaliseringsalgoritmer i skipsdesignsammenheng. Basert på simulatormodeller av komponentene i et skips energisystem kan et dataprogram raskt sammenligne effektene av ulike designvalg og driftsmodi og lete seg frem til de valgene som minimerer disse. Det har i tillegg blitt utviklet metoder for hurtig generering av nye skrogformer basert på eksisterende skrog ved hjelp av 3D-morfing.

2.5 System for operasjonell beslutningsstøtte.

Prosjektet har utviklet et verktøy for analyse av store mengder operasjonelle data, slik at disse kan tas i bruk til både forskning, designutvikling og beslutningsstøtte ombord. Resultatene fra denne arbeidspakken er allerede tatt i bruk i flere andre forskningsprosjekt. Det er også gjennomført en forskningsstudie av metoder for styring og regulering av energisystemer.

3 WP 1: Anbefalinger og strategier for innhenting av operasjonelle data fra fartøy.

3.1 Fartøy, utstyr og målinger

Som et ledd i utviklingen av metoder og verktøy for innhenting av operasjonelle data ble fartøyet MTr. «Prestfjord» brukt som demonstrasjons- og utviklingsplattform.

Fartøyet ble levert av Myklebust Verft AS i Gursken, og har en lengde på 65 meter. Farten er oppgitt å være ca. 14 knop ved 85 % MCR (Maximum Continuous Rating). MTr. «Prestfjord» er utstyrt med et hybrid fremdriftsmaskineri som kan kombinere dieselmekanisk og dielelektrisk fremdrift på ulike måter. Videre er all drift av vinsjer elektrisk, inkludert åtte sveipvinsjer. Rolls-Royces leveranser omfatter design, system for fremdrift og manøvrering, dekkmaskineri og elektriske systemer. Ytterligere spesifikasjoner på MTr. «Prestfjord» er gitt i tabell 3.1.

Dette har vært et gunstig fartøy for formålet i prosjektet, siden det både har fleksibilitet når det gjelder driftsmodus, det har mange sensorer og Rolls-Royce (som er representert i prosjektet) har vært til stor hjelp når det kom til integrasjon mot fartøyet og dets systemer.

Skrog og kapasiteter		Maskineri	
Lengde o.a.	65 m	Hovedmotor	4500 kW
Bredde	15 m	Akselgenerator	2300 kW
Dybde i riss h.dk.	5,80 m	PTI	1200 kW
RSW kap.	1380 m ³	Hjelpemotor 1	1800 ekW
Bruttotonnasje	2620 TE	Hjelpemotor 2	1800 ekW
Drivstofftanker	599 m ³	Hjelpemotor 3	550 ekW
Ferskvannstanker	116 m ³	Propelldiameter	3800 mm
Vannballast	101 m ³		
Fryserom	1236 m ³		

Tabell 1: Hoveddata for MTr. «Prestfjord».

3.2 Systemarkitektur

En oversikt over målingene som logges er gitt i SINTEF rapport F27593 ”*ImproVEDO detaljert rapport*”. Figur 3.2 viser skjematisk hvordan loggeapplikasjonen ble bygget opp. De enkelte komponentenes roller er som følger:

Manager Denne komponenten er ansvarlig for å overvåke de andre komponentene og sørge for at de gjør det de skal. Manager starter komponenter som har stoppet, restarter komponenter som ser ut til å feile og sørger for å kjøre periodiske oppgaver, slik som filkopiering og -komprimering.

Logger Denne komponenten er ansvarlig for å logge de saktevarierende signalene til fil med 1 Hz. Hvert sekund skriver den siste mottatte verdi for hvert signal til fil.

Burst logger Denne komponenten er ansvarlig for å logge de hurtigvarierende signalene til fil. For MTr. «Prestfjord» gjelder dette akselerasjons-, hastighets- og orienteringsmålinger fra *MRU*¹. Frekvensen på denne ble opprinnelig satt til 100 Hz, men den ble senere satt ned til 10 Hz for å redusere datamengden. Det er viktig for denne komponenten å ha en tidsberegning som er mest mulig stabil og uten drift. Om systemet ikke kjører på et sanntids operativsystem, kan man ikke garantere at hver enkelt måling gjøres til eksakt riktig tid. Komponentene håndterer dette ved å, innen visse grenser, eliminere drift. Det vil si at om en dataverdi blir litt forsinket, prøver den å logge neste dataverdi til det tidspunktet den skulle vært logget dersom forsinkelsen ikke oppstod. Dette gjøres for at det integrerte signalet skal være mest mulig korrekt. Om det skulle oppstå en stor nok forsinkelse, vil komponenten la være å logge dataverdier som ikke ansees som representativ for det ønskede tidspunktet. Terskel for maksimalt ønsket tidsforsinkelse i en logget verdi kan konfigureres.

Kommunikasjonsbuss Kommunikasjonsbussen skal formidle informasjon og signaler mellom de ulike komponentene. I prinsippet kunne man unngå denne ved å samle all funksjonalitet i en applikasjon, men ved å bruke en kommunikasjonsbuss oppnår man både at de ulike komponentene kan utvikles mer fritt og at de kan kjøre på ulike datamaskiner og steder.

MRU Det ble installert en egen MRU for loggesystemet. For å integrere denne i systemet ble det utviklet en egen driver mot produsentens proprietære kommunikasjonsformat. MRU-en måler akselerasjoner, orientering og hastigheter, og inneholder egne filtre som utnyttes av loggesystemet.

NMEA sensorer Informasjon fra navigasjon (GPS), gyro, vindmåler og (farts)logg ble logget fra *NMEA 0183*-meldinger via serieporter. En del av disse signalene er følsomme for endringer i innstillinger gjort av mannskapet. Eksempelvis kan man risikere endringer i om vindmåler angir sann vind eller relativ vind. Komponentene som leser inn NMEA-data vil derfor beregne både relativ og sann vind basert på målinger av vind, kurs og hastighet.

Automasjonssystem Automasjonssystemet ACON tar inn målinger fra mange steder i fartøyet. Siden det er levert av Rolls-Royce, som er deltager i prosjektet, fikk vi tilgang på mange av disse målingene, noe som sparte prosjektet for mye tid og kostnader. I de første versjonene ble loggesystemet integrert mot ACON ved hjelp av funksjonalitet i *CDP*². I siste versjon er CDP erstattet med funksjonalitet utviklet i prosjektet, der *DDS*³ er benyttet for kommunikasjon over ethernet.

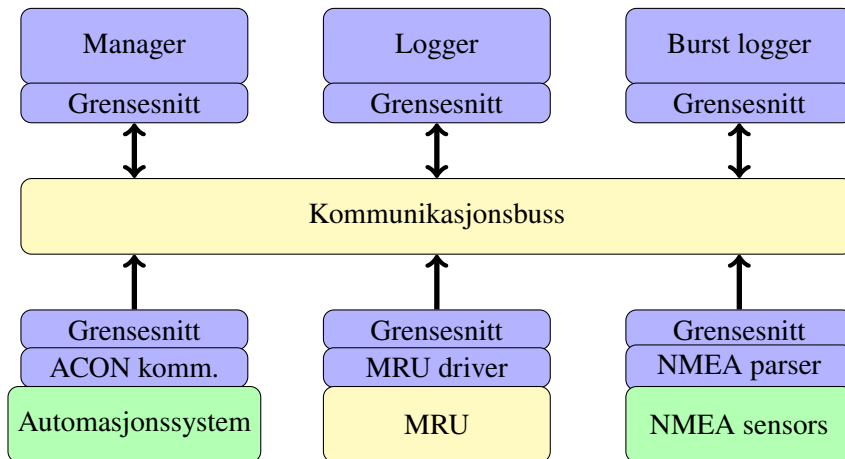
3.3 Versjoner og historikk for loggesystemet

Versjon 1: CDP og proprietært binært filformat Første versjon av systemet for innsamling av operasjonelle data ble basert på et proprietært lagringsformat, samtidig som CDP ble brukt både for integrasjon mot fartøyets systemer og for kommunikasjon mellom egne applikasjoner. Valget av CDP gjorde at vi enkelt kunne integrere mot både Rolls-Royce' systemer og mot NMEA, samtidig som den fungerte godt som kommunikasjonsbuss. Det proprietære filformatet ble utviklet for mest mulig effektiv lagring av data.

¹En MRU (Motion Reference Unit) benyttes typisk for å måle et fartøys akselerasjoner og endringer i orientering.

²CDP (Control Design Platform) er et programvarebibliotek fra ICD Software AS. CDP inneholder blant annet funksjonalitet for sanntidskommunikasjon mellom ulike komponenter over forskjellige protokoller og format.

³DDS (Data Distribution System) er et generelt rammeverk for kommunikasjon over ethernet basert på publisering og abonnering.



Figur 1: Oppbygging av loggesystemet. Blå farge indikerer komponenter og funksjonalitet utviklet i prosjektet, grønn farge indikerer eksisterende sensorer og gul farge indikerer komponenter og funksjonalitet som er levert, men ikke utviklet i prosjektet.

Versjon 2: CDP og NetCDF binært filformat I versjon 2 av loggesystemet ble det proprietære filformatet byttet ut med et standardisert filformat, *NetCDF*. Dette filformatet er mye brukt innen områder med store datamengder, slik som meteorologi og oseanografi. Hovedgrunnen for å gå over til *NetCDF* var at dette var et standardisert format med god støtte for metadata, noe som gjør filene selvdokumenterende og lettere å bruke for andre. Det har også god støtte for kompresjon.

Versjon 3: DDS og NetCDF binært filformat I versjon 3 ble CDP byttet ut med en egen kommunikasjonsbuss basert på DDS. Denne bussen har fått navnet *Ratatosk*. DDS er et generelt kommunikasjonsrammeverk som har funksjonalitet for serialisering, publisering/abonnering og automatisk nettverkskonfigurasjon. Serialiseringen foregår slik at man kan sende (nesten) vilkårlige datastrukturer over DDS. Dette betinger bare at sender og mottaker har en felles forståelse av strukturene, som er spesifisert i klartekst i en tekstfil (IDL-fil). En komponent som publiserer spesifiserer enkelte egenskaper ved det han sender, slik som tema, navn og eventuelt partisjon og en eller flere id-er. Den som skal abonnere på slik informasjon trenger ikke vite noe om IP-adresse eller id til avsender. Det eneste som trengs er å spesifisere tema (*topic*) og eventuelt andre aspekt ved det man ønsker å motta.

4 WP 2: System for systematisk aggregering av operasjonelle data.

Målet for denne arbeidspakken har vært å utvikle metoder og verktøy for å aggregere de operasjonelle dataene over tid, slik at man kan utnytte data fra en lang tidsperiode i fremtidige analyser. Viktige premisser for dette arbeidet har vært sikkerhet for dataene, såvel som lave driftskostnader. Dette har ført til en løsning som skissert i Figur 2.

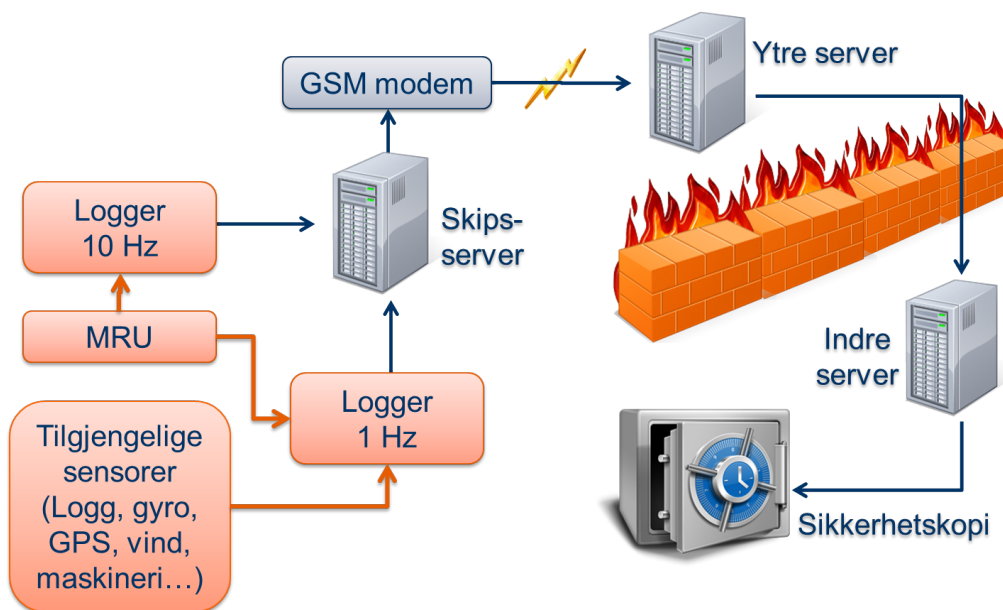
De viktigste aspektene ved denne løsningen er:

Lokal lagring: Lokal lagring ombord i fartøyet skjer i form av *NetCDF*-filer. Disse er plass effektive og kan leses av enkelte tredjepartsverktøy. En utfordring relatert til dette valget har vært å unngå at avbrudd i programmet fører til korrupte og uleselige datafiler, men dette er nå løst.

Overføring til land: Man kunne her tenke seg å utnytte eksisterende kommunikasjonskanaler, slik som satellitt og mobilnett. Det ble bestemt å ikke bruke satellitt på grunn av kostnadene dette ville medføre. Det ble videre bestemt å ikke basere seg på eksisterende mobilt bredbånd om bord, dette mest for å unngå spekulasjoner blant mannskapet om hvorvidt dette kommunikasjonsystemet kunne redusere ytelsen

mot andre formål. Man kunne tenkt seg løsninger med trafikkhåndtering og QoS^4 . I vårt tilfelle kunne dette gitt datainnhentingssystemet anledning til å utnytte ledig overføringskapasitet uten å forstyrre annen nettverkstrafikk, men dette har ikke vært utforsket. Det ble derfor valgt en løsning med et dedikert mobilt bredbåndsmodem som oppnår nettverkskontakt når fartøyet kommer på mobilhold. Det startes da overføring av dataene til en landbasert server som er tilgjengelig på internett. Dette skjer via en kryptert og komprimert kanal. Dersom det blir avbrudd i kommunikasjonen under overføring av en stor fil, vil systemet gjenoppta overføring fra der den slapp.

Sentral lagring: Den sentrale lagringen skal være sikker mot både datatap og uønsket datatilgang. Samtidig skal den gjøre analyse av dataene så lettvinnt som mulig. Løsningen som er valgt er å oppbevare dataene på en server innenfor SINTEFs brannmur. Denne serveren henter hver natt dataene fra serveren på utsiden av brannmurene. Med jevne mellomrom tas det sikkerhetskopi av dataene til en lokasjon utenfor SINTEFs lokaler.



Figur 2: Aggregering av operasjonelle data.

5 WP 3: Key Performance Indicators for optimal drift av fartøy.

Et fartøy i drift består av en rekke systemer og aktiviteter som til sammen utgjør en operasjon. Hvert aspekt av operasjonen har innvirkning på hvor godt operasjonen utføres. Å tallfeste ulike aspekter ved operasjonen kan dermed være nyttig for å si noe om hvor godt operasjonen utføres og legger grunnlaget for beslutningsstøtte med den hensikt å forbedre ytelsen. I dette prosjektet har det blitt utarbeidet indikatorer for nøkkelytelse – *Key Performance Indicators (KPI)* – som gir enheter for å måle et fartøys operasjonelle ytelse.

5.1 Kategorisering av indikatorer

Ulike indikatorer har blitt identifisert og delt inn i grupper avhengig av hvilket aspekt ved operasjonen de representerer. En gruppe består av én eller flere undergrupper. Hver undergruppe defineres ved:

⁴QoS (Quality of Service) er et begrep for metoder og verktøy som blant annet tillater å prioritere gitte former for nettverkstrafikk fremfor andre.

- Kriterier som må være oppfylt.
- Konstante parametere.
- Målte ytelsesindikatorer.
- Kalkulerte ytelsesindikatorer.

En undergruppe resulterer i én eller flere såkalte KPIer. Vi har tatt for oss kvantifiserbare indikatorer som kan tallfestes på ulike måter. Noen indikatorer presenteres som akkumulerte verdier av tidsserier, mens andre presenteres best som behandlede/filtrerte verdier: gjennomsnitt, maksimum, minimum eller RMS (Root Mean Square). Grupper og undergrupper, samt definisjon av KPIer finnes i vedlegg.

5.2 Eksempel: KPI 3.1.8 – Fuel Consumption vs Flow through Trawl

Denne indikatoren reflekterer hvor stort volum som tråles i forhold til drivstofforbruket:

$$\text{KPI}_{3.1.8} = \frac{c_f}{A_t V_s}$$

Her er c_f drivstofforbruksraten i gram/time, A_t er trålens effektive åpningsareal i m^2 , og V_s er trålens hastighet gjennom vannet i m/s.

6 WP 4: System for beslutningsstøtte innen skipsdesign.

Formålet med denne arbeidspakken var å undersøke hvordan man eventuelt kan benytte numeriske optimaliseringsmetoder til beslutningsstøtte for design av skip. Tanken er at man ved hjelp av matematiske modeller for ulike maskinerikomponenter, slik som motorer, generatorer, propulsjon og så videre – heretter omtalt som skipets *energisystem* – kombinert med en forventet driftsprofil for skipet, kan beregne drivstofforbruk, utslipp, driftskostnader og andre nøkkeltall. I prinsippet kan man så overlate til en automatisk optimaliseringsalgoritme å lete seg frem til et parametersett – motortype, generatortype, propelldimensjon og så videre – som for eksempel minimaliserer drivstofforbruket over tid. Ved hjelp av såkalte *multiobjektivmetoder* kan man optimalisere flere slike nøkkeltall på en gang og finne frem til flere løsninger med ulike avveininger.

Det finnes mange ulike metoder og algoritmer for numerisk optimalisering – hver med sine ulike egenskaper, fordeler og ulemper. Optimaliseringsalgoritmene som er undersøkt i ImproVEDO er kort oppsummert i seksjon 6.1. Felles for alle metoder er at objektivfunksjonen(e), altså de funksjonene som skal minimaliseres eller maksimaliseres, må beregnes flere ganger med ulike parametere for å finne de parameterverdiene som svarer til et optimum. Forenklet kan man si at jo mer komplisert optimaliseringsproblemet er, desto flere ganger må funksjonene beregnes.

En funksjonsberegning vil i denne sammenheng si at man beregner de ovennevnte nøkkeltall for én bestemt energisystemmodell, ett bestemt parametersett og én bestemt driftsprofil. Forsøk i dette prosjektet med selv relativt enkle energisystemmodeller har vist at man raskt kommer opp i tusenvis eller millioner av funksjonsberegninger. Dersom metoden skal kunne brukes i praktisk skipsdesign blir det dermed ekstremt viktig at modellberegningene kan utføres hurtig.

Et moderne skips energisystem, hvor vi her inkluderer kraftverk, propulsjon og “tunge” energiforbrukere som kraner, vinsjer og så videre, er et meget komplisert system å modellere, og systemet som et hele har en høyst ikkelineær oppførsel. Det er flere årsaker til dette. For det første består energisystemet av et stort antall komponenter med ulike egenskaper, og det involverer flere forskjellige natur- og ingeniørvitenskapelige grener og domener: mekanikk, elektronikk, hydrodynamikk, kraftteknikk og kontrollsystemer er noen eksempler. Dette medfører videre at dynamikken i et slikt system foregår på et bredt spekter av tidsskalaer, fra skipets bevegelser på sekundskala ned til elektriske og elektroniske systemer som opererer på mikrosekundskala.

Tidssimulering av dynamikken i skipssystem er dermed et høyst ikke-trivielt problem, og i skrivende stund pågår det flere forskningsprosjekter i den norske maritime forsknings- og industrisektoren som har som hoved- eller delmål å takle utfordringene forbundet med dette. Verdt å nevne i denne sammenheng er noen prosjekter som både Rolls-Royce Marine og SINTEF deltar i:

- *Virtual prototyping of maritime systems and operations* (kompetanseprosjekt for næringslivet, NFR-prosjektnummer 225322, 2013–2016): Dette prosjektet, også kjent som *ViProMa*, har som formål å utvikle et rammeverk for *virtuell prototyping* for maritime formål. Med dette mener vi at man kan skal kunne konstruere en virtuell, matematisk modell for et helt skip basert på delmodeller, der delmodellene er helt frittstående og utskiftbare og kan være laget ved hjelp av ulike simuleringsprogramvarepakker. Denne modellen skal så kunne brukes til å simulere skipets oppførsel i ulike operasjoner og scenarier for å vurdere dets ytelse og egnethet. ViProMa har dratt stor nytte av erfaringer fra ImproVEDO.
- *Senter for maritime operasjoner – MOVE* (senter for forskningsdrevet innovasjon, NFR-prosjektnummer 237929, 2015–2023): MOVE skal være et kompetansesenter for innovasjon innen maritime operasjoner, med fokus på muliggjørende teknologi og metoder samt teknologiutveksling mellom ulike bransjer. Bruk av modellering og simulering som verktøy fra design til operasjon er et meget sentralt tema her.
- *Smart maritime* (senter for forskningsdrevet innovasjon, NFR-prosjektnummer 237917, 2015–2023): Dette prosjektet har som formål å etablere et norsk senter for forbedret energieffektivitet og reduksjon av utslipp fra den maritime sektoren. Også her står integrasjon av delmodeller for å kunne simulere fullstendige skipssystemer helt sentralt.

I ImproVEDO har vi ikke fokusert på detaljerte, nøyaktige simuleringer av dynamikken i et skips energisystem. Tidsbruken forbundet med å kjøre slike simuleringer gjentatte ganger under en optimaliseringsalgoritme ville ganske enkelt forhindre enhver praktisk bruk i en tidlig designfase.

Modellene som er utviklet er derfor ment å skulle være “gode nok” til å gi et estimat over energi- og drivstoffbruken til et skip over en lenger tidsperiode. De er ikke dynamiske, men *kvasistatiske*. Dette innebærer at man ser bort fra hurtigvarierende effekter og kun ser på midlere størrelser over tid. Dette kan illustreres med en dieselmotor som eksempel: En detaljert dynamisk modell vil kanskje inkludere de prosessene som skjer i hvert enkelt stempelslag, mens en mindre detaljert dynamisk modell vil i det minste kunne representere motorens respons på ytre påvirkning, slik som et midlertidig hastighetsfall når man kobler på en last. En kvasistatisk modell vil ikke inkludere noe av dette, men vil heller kunne gi en beskrivelse av drivstofforbruk og andre størrelser under konstante driftsforhold, hvor kortvarige dynamiske effekter spiller en mindre rolle. Modellene som har blitt utviklet i ImproVEDO er beskrevet i seksjon 6.2.

For å knytte det hele sammen har det blitt laget et grafisk programverktøy som kan brukes til å velge komponenter og koble dem sammen til en modell av et helt energisystem, konfigurere hver enkelt komponent, og utføre en evaluering av systemet ved hjelp av optimaliseringsalgoritmen. Dette programverktøyet, kalt *MachOS*, er ment som et “proof of concept” hovedsakelig til bruk for demonstrasjons- og forskningsformål. MachOS er beskrevet i seksjon 6.3.

6.1 Optimaliseringsmetoder

Det er et uunngåelig faktum at enhver form for teknisk design vil bestå av flere avveininger. Når det gjelder skip ønsker man å minimere drivstofforbruk, utslipp, innkjøps- og driftskostnader, mens man ønsker å maksimere ytelse, oppetid, komponenters levetid, og så videre. Ofte vil disse gå på bekostning av hverandre, slik at en forbedring i ett måltall vil føre til en forverring av et annet.

Dette betyr at fra et optimaliseringsperspektiv så er skipsdesign et såkalt *multiobjektiv-problem*: man har mer enn én objektivfunksjon som skal optimaliseres. Dette kan gjøres på to måter:

Man kan kombinere de ulike objektivfunksjonene til én og bruke en vanlig (enkeltoobjektiv) optimaliseringsalgoritme. Dersom man har to objektiver $f_1(\mathbf{x})$ og $f_2(\mathbf{x})$, der f_1 skal minimeres og f_2 skal maksimeres med hensyn på parametervektoren \mathbf{x} , så kan man for eksempel definere $g(\mathbf{x}) = a_1 f_1(\mathbf{x}) - a_2 f_2(\mathbf{x})$ og minimere g . Avveiningen mellom f_1 og f_2 kan gjøres ved å justere på koeffisientene a_1 og a_2 . Denne metoden ble utprøvd tidlig i prosjektet, men viste seg å ha noen ulemper. I hovedsak var problemet at resultatet ofte viste seg å være veldig sensitivt for selv små forskjeller i hvordan man konstruerte den kombinerte objektivfunksjonen. Jo mer omfattende energisystem man så på, desto mer komplisert ble topologien til funksjonen (lokale optima, trange “daler” og lignende), og jo vanskeligere ble det å finne gode verdier for koeffisientene. I tillegg vil en slik metode innebære at man må gjøre avveiningen på forhånd, før man setter i gang optimaliseringen, og dersom man ønsker å justere på denne for å se på andre alternativ må man utføre hele optimaliseringen på ny.

Alternativet, som vi etter hvert gikk over til, er å bruke en *multiobjektiv-metode*, altså en algoritme som søker å optimalisere flere objektivfunksjoner på en gang. Slike algoritmer gir sjelden bare én løsning, de gir et helt spekter av løsninger som ideelt sett representerer ulike avveininger mellom objektivene. Dette gjør at brukeren av programvaren i etterkant kan gjennomgå de ulike løsningene og veie dem opp mot hverandre uten å måtte gjenta beregningene. Metoden som ble valgt var NSGA-II⁵, en velkjent og godt utprøvd algoritme. Dette er en genetisk algoritme som i likhet med andre slike har den tilleggsfordelen at den er egnet for problemer med mange lokale optima. En C++-implementasjon av NSGA-II, med noen små modifikasjoner, er utviklet i prosjektet.

Optimaliseringsproblemet kan formuleres som følger: For et gitt energisystem i en gitt operasjonell tilstand kan vi beregne et sett av *kostnadsfunksjoner* $\mathbf{f}(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = (f_1(\mathbf{u}, \mathbf{v}), f_2(\mathbf{u}, \mathbf{v}), \dots)$, altså funksjoner vi i utgangspunktet ønsker å minimere. Et typisk eksempel er “drivstofforbruk”; “vedlikeholdskostnader” er et annet. Disse avhenger av to typer parametere: *designparameterene* $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots)$, hvis verdi blir definert under designprosessen, og *driftsparameterene* $\mathbf{v} = (v_1, v_2, \dots)$, hvis verdi kan variere under drift. Eksempler på førstnevnte kan være “skroglengde” og “motortype”, mens sistnevnte kan eksempelvis være “motorhastighet” eller “propellstigning”, og så videre. I driftsprofilen spesifiserer man ulike *driftsfaser*, som “forflytning”, “tråling”, “produksjon” og lignende. For hver fase har vi en *relativ varighet*, r_k , som angir hvor stor andel av total driftstid som tilbringes i fase k . (Det forutsettes her at $\sum_k r_k = 1$.) Basert på dette kan vi nå definere et sett av objektivfunksjoner ved å midle kostnadsfunksjonene over total driftstid:

$$\mathbf{F}(\mathbf{u}, \mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_{N_f}) = \sum_{k=0}^{N_f} r_k \mathbf{f}(\mathbf{u}, \mathbf{v}_k) \quad (1)$$

Her er N_f antallet definerte driftsfaser. Funksjonene \mathbf{F} kan nå minimaliseres med hensyn på én eller flere av design- og driftsparameterene for å finne det mest optimale designet og det mest optimale driftsmønsteret.

6.2 Komponentmodeller

Mest vekt er lagt på å sørge for at de komponentene som har størst innvirkning på forbruket og utslippene over tid – motor og propulsjon – gir noenlunde realistiske resultater. Komponenter som står for mindre energitap, slik som for eksempel frekvensomformere, tavle og lignende, har oftest blitt modellert med konstant effektivitet – altså at effekt ut er lik effekt inn multiplisert med en effektivitetsfaktor med verdi mellom 0 og 1.

Følgende motormodeller er laget:

⁵K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal and T. Meyarivan: *A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II*. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6(2):182–197, 2002.

- En multipel-regresjonsmodell som beregner drivstofforbruk, spillvarme og NO_x -utslipp for middels hurtigløpende firetakts marine dieselmotorer, basert på tilgjengelig informasjon om et stort antall motorer fra ulike leverandører. Modellen er laget av AZTI Technalia, en av prosjektets samarbeidsinstitusjoner, og er beskrevet i detalj i egne rapporter (vedlagt). En frittstående C++-implementasjon av modellen er tilgjengelig i form av biblioteket *M4MDE*.
- Regresjonsmodell som beregner drivstofforbruket til Bergen Diesel B32:40- eller C25:33-motorer, basert på musseldiagram levert av Rolls-Royce Marine.

Videre er det laget to propellmodeller:

- En modell basert på koeffisienter fra friprøver av Rolls-Royce Marine propellmodell 7181R med dysemodell 1421.
- En modell basert på den kjente Wageningen B-propellserien⁶.

Alle modellene er implementert ved hjelp av SINTEF Fiskeri og havbruks interne simuleringsprogramvare *FhSim*.

6.3 MachOS

MachOS står for *Machinery Optimisation System* og er en programvare laget for å utforske og demonstrere idéene rundt bruk av optimalisering i skipsdesign. Den består av et grafisk pek-og-klikk-grensesnitt der man kan bygge opp en energisystemmodell bestående av komponenter og koblingene mellom dem, legge inn en driftsprofil, evaluere energisystemet opp mot driftsprofilen ved hjelp av tidligere nevnte optimaliseringsalgoritme, og få en rudimentær presentasjon av løsningene. Programmet er beskrevet i mer detalj i brukermanualen.

7 WP 5: System for operasjonell beslutningsstøtte.

Det opprinnelige formålet med denne arbeidspakken var å lage beslutningsstøttesystem i form av programvare som kunne installeres ombord i fartøy. Etter hvert ble det besluttet å fokusere mer på verktøy for analyse av operasjonelle data, mens Rolls-Royce selv gikk videre med utvikling av programvareverktøy for installasjon ombord. Verktøyet for analyse av operasjonelle data ble kalt *STIM*, som en kortform av *SINTEF Time Series Tools*.

STIM inneholder biblioteker og programmer for håndtering av dataserier i binærfile. De viktigste elementene i denne programpakken er:

Analyzer: Applikasjon for å utføre analyse på lange tidsserier. Dette er det viktigste elementet i STIM. Analyser er utviklet for å kunne prosessere lange tidsserier fordelt over mange filer hurtigst mulig. Den er modulært oppbygd, og det er tilrettelagt for å legge til funksjonalitet etter hvert som nye behov oppstår. Se oversikt over implementert funksjonalitet under eller i brukerdokumentasjonen.

Corrector: Applikasjon for å korrigere historiske tidsserier. Dette vil typisk være variabler som har byttet navn, kalibrering av måleserier, beregning av manglende data osv.

Stim2csv: Applikasjon for å konvertere binære tidsserie filer til CSV-format. Dette kan være gunstig for å gjøre operasjonelle data tilgjengelig for verktøy som ikke kan lese NetCDF.

⁶M. M. Bernitsas, D. Ray and P. Kinley: *K_T , K_Q and efficiency curves for the Wageningen B-series propellers*. Technical report no. 237 (1981), Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering, University of Michigan.

Histogram: En samling verktøy for å behandle histogramfiler. Dette inkluderer plotting og sammenslåing av histogram.

StimVarQuery: Applikasjon for å trekke ut spesifiserte variabler og intervall fra tidsserier.

Dat2netcdf: Program for å konvertere fra tidligere til nåværende binært filformat.

StimViewer: GUI for å inspisere tidsserier.

STIM API: API (Application Programming Interface) med metoder for å skrive og analysere tidsserier i NetCDF binære filer.

7.1 STIM Analyser komponenter

I STIM Analyser bygges en analyse opp ved å kople sammen ulike komponenter gjennom inn- og utganger. Hver komponent kan ha et antall innganger og utganger, avhengig av komponenttype og spesifikasjon. Alle innganger må ha navn tilsvarende en utgang på en tidligere definert komponent. Alle spesifiserte utganger må ha en tilsvarende inngang definert på minst én komponent etter den aktuelle komponenten. Flere inngangsvariable (på ulike komponenter) kan kobles til én utgang. Følgende komponenter er i dag implementert i STIM Analyser:

Classifier Velger mellom forhåndsdefinerte klasser basert på sannsynlighetsestimater.

DecimateStable Lager en desimert versjon av innkommende signaler, i de periodene et utvalg signaler er stabile innen gitte kriterier.

Decimator Desimerer (nedsampler) tidsserier.

Describer Beregner varians/sum/gjennomsnitt/median av tidsseriene på hver inngang.

Distribution Beregner det relative antallet av datapunkt i ulike intervall/kategorier.

ExternalOutput Setter opp en utgang som kan aksesseres fra utenfor STIM.

FetchStable Kategoriserer signal som stabile eller tidsvarierende basert på spesifiserte kriterier.

FileNameSource Gir ut en liste av filnavn på en utgang.

FileReader Leser tidsserier fra fil(er).

FileSource Leser filnavn fra kataloger.

FileWriter Skriver dataserier til fil(er).

FilenameTransformer Transformerer en serie av filnavn etter spesifiserte regler.

Filter Filtrering av inngangssignaler.

AdaptiveMedian1 Beregner filtrert medianverdi av inngangssignalene.

Mean Beregner gjennomsnittsverdi av inngangssignalene.

Median Beregner medianverdi av inngangssignalene.

HistogramPlotter Plotter histogram.

HistogramWriter Aggregerer innkommende datapunkt i kategorier langs tre akser.

Interpolator Interpolerer data i et indeksert inngangssignal.

Modus Spesialisert komponent som estimerer et fartøys driftsmodus.

OutputDrainer Endepunkt for utganger som ellers ikke er terminert.

ScatterPlot Plotter to dataserier mot hverandre.

TestBlock Utfører matematiske operasjoner datapunkt for datapunkt. Denne komponenten inkluderer mange ulike operasjoner som kan utføres:

Expression Vilkårlig matematisk uttrykk (må støttes av muparser ⁷).

FuzzyAnd Returnerer den minste av inngangsverdiene.

FuzzyAndN Returnerer den n'te største inngangsverdien.

FuzzyNot Returnerer $1 - x$.

FuzzyOr Returnerer den største av inngangsverdiene.

Greater Tester om en verdi er større enn den andre.

Less Tester om en verdi er mindre enn den andre.

Product Multipliserer inngangsverdiene.

RampEqual Tester i hvor stor grad to verdier er like.

RampGreater Tester i hvor stor grad en verdi er større enn en annen.

RampLess Tester i hvor stor grad en verdi er mindre enn en annen.

TimePlot Plotter dataserier som funksjon av tid.

Se SINTEF rapport F27593 "*ImproVEDO detaljert rapport*" for analyseresultater for Prestfjord basert på STIM.

8 PhD-arbeid: Styring og regulering av isolerte energisystemer

Doktorgradsstipendet til Mutaz Tuffaha ble finansiert gjennom ImproVEDO. I dette kapittelet gjengis sammen-
draget fra doktoravhandlingen samt de vitenskapelige publikasjonene publisert av Tuffaha som en del av dette
arbeidet. Leseren henvises til avhandlingen og publikasjonene for detaljer.

8.1 PhD-avhandling

M. Tuffaha: On the Management and Control of Isolated Power Systems

Power systems have been a rich arena for research and study since the very beginning of their use commercially in the late 19th century. At the beginning, the objectives of the research were focused on the stability and reliability of the power systems, especially with the fast growth in their size and in the demand on the electric power. Later, due to the need to save losses and fuel consumption, the increasing awareness of the environmental challenges, the growing desire to integrate renewable energy resources, and many other reasons, the attention of the research was drawn to another essential topic, that is the management and planning of power systems. Isolated power systems, however, did not receive similar attention until recently. Isolated power systems are indispensable in many applications such as, but not limited to, island power systems and marine vessels. This work addresses two different topics in the study of power systems that are intended for isolated power systems, but the results provided can also be expanded to regular ones. Thus, the thesis is divided into two parts: the management and scheduling of the power systems, and the control of Gensets.

⁷muparser er et bibliotek for parsing og evaluering matematiske uttrykk. Se <http://muparser.beltoforion.de/>.

The first part contains our contributions in the field of operations research and the management of power systems after providing a brief introduction to integer programming (IP), mixed-integer programming (MIP), and propositional calculus. This introductory chapter is fundamental to understand the basic concepts that were used to develop the models and techniques throughout this work. Then, we describe a new technique to represent piecewise linear (PWL) functions in optimization problems based on mixed-logical inequalities. The proposed technique is best suited for special class of discontinuous functions that cannot be handled by the regular SOS method. Finally, we introduce our main contribution in this thesis in the fourth chapter, that discusses the unit commitment (UC) and economic dispatch (ED) problems. In this chapter, we present a state-space model in discrete time that can be used to solve both the UC and ED, simultaneously. Such models can be useful when model predictive control (MPC) philosophy is considered to make the scheduling and planning of power systems more reliable and adaptive to changes in the demand side. Further, we show by simulations that the proposed model could be more accurate than the commonly-used ones. We believe that the proposed model can be the core model for all kinds of power systems, not only the isolated one.

In the second part, we present our results regarding the control of the generating set (Genset) that comprises a Diesel engine and a synchronous generator. In chapter 5, we present a control-oriented model of the Genset, and design a controller by feedback linearisation to regulate the shaft speed and the terminal voltage, simultaneously, through two control inputs: the fuel mass and the voltage of the field excitation circuit. We provide simulations to show that the proposed controller make the two manipulated control inputs interact with each other, i.e. they both respond to any change of the terminal voltage or the load. In addition, we discuss the robustness of the proposed controller to unmeasured disturbances, uncertainties, and time delays imposed by the Diesel engine, if they are not so large. Chapter 6 discusses special class of marine Gensets or shaft generators. In this type of marine Gensets, the Diesel engine is connected through a clutch and a gear box to a synchronous machine, and the main propeller. Such Gensets can be operated in different modes. Thus, we extend the model proposed in Chapter 5 to include the main propeller. Then, we design a controller to regulate the shaft speed and the terminal voltage in one mode of operation. Also, we provide some simulations to show that the proposed controller can be considered robust to small uncertainties and time delays.

The last chapter summarizes the main contributions of this work, and discusses recommendations for possible future work.

Doctoral Theses at NTNU, 2015:261. ISBN: 978-82-326-1178-2.

8.2 Vitenskapelige artikler

M. Tuffaha, J. T. Gravdahl: Control-Oriented Model of a Generating Set Comprising a Diesel Engine and a Synchronous Generator

A generating set (Genset) comprises a prime mover such as a Diesel Engine, and a synchronous generator. The most important controllers of such systems are the speed governor to regulate the engine or shaft speed and the automatic voltage regulator (AVR) to regulate the terminal voltage. The speed governor is a PID controller that uses the difference between the speed and its desired value as a feedback signal to change the fuel mass input by changing the fuel rack position. AVR is also a PID that uses the difference between the terminal voltage of the generator and its desired value, and changes it by manipulating the voltage of the field excitation circuit. Thus, the two controllers act separately. That is to say, if the speed varies from the desired value, the speed governor will react, while the AVR will not react as long as the voltage is stable, and vice versa. In this work, a control-oriented model is suggested for a Genset, and then a controller, that regulates the shaft speed and the terminal voltage, is designed by feedback linearisation. The proposed controller has two inputs: the fuel mass and the field circuit voltage. Simulations show that the proposed controller makes the two inputs act, simultaneously. Thus, any change of the speed e.g., forces the two input controls to react, in contrast to the ordinary PID controllers. Further, we discuss the robustness of the proposed controller to uncertainties and time delay.

Modeling, Identification and Control 36 (4), 2015, s. 199–214.

DOI: 10.4173/mic.2015.4.1

M. Tuffaha, J. T. Gravdahl: Some insights about modelling Piecewise Linear functions by the Incremental method

Several techniques were proposed to model the Piecewise linear (PWL) functions, including convex combination, incremental and multiple choice methods. Although the incremental method was proved to be very efficient, the attention of the authors in this field was drawn to the Special Order Set (SOS) method. In this work, we modify the incremental method to make it suitable for discontinuous functions. Further, we comment on the lower bounds for the optimization over separable univariate PWL functions with binary indicators.

[Ikke publisert ennå.]

M. Tuffaha, J. T. Gravdahl: Discrete State-Space model to solve the Unit Commitment and Economic Dispatch problems

The unit commitment (UC) and economic dispatch (ED) problems are the most important problems in managing and optimizing the operations of power systems. Mixed-integer programming (MIP) seems to be one of the most exact and reliable techniques to solve the UC problem, in comparison to other techniques. The solutions of the UC problem, when formulated as a MIP, involves the solutions of the ED problem. Recently, the attention is drawn to formulating a state-space model for the power generation process that can be used to solve the UC problem, for several potential reasons. First, state-space models can be easier to implement the model predictive control (MPC) strategy. Besides, state-space models are more suitable to describe the power ramping process, should more complicated models than the linear first order models are sought. Further, state-space models can be more useful when different stages of the ramping process are considered.

In this work, we present a mixed-integer state-space model to solve both the UC and ED problems by considering the output power level, status of the generating unit, and up and down time counters as state variables. The up and down time counters represent the main contribution of this work. Numerical experiments are provided to compare the proposed model with another MIP that is not described as state-space model. The numerical results show that the proposed model is competitive, and it gives even better results for small-sized problems, especially when quadratic objective functions are considered.

[Ikke publisert ennå.]

8.3 Konferansebidrag

M. Tuffaha, J. T. Gravdahl: Mixed-integer formulation of unit commitment problem for power systems: Focus on start-up cost

In this work, the Mixed-Integer (MIP) formulation for unit commitment problem (UC) for power systems is discussed. A new formulation for the start-up cost is suggested as well. This new formulation of the start-up cost exploits the transformation of the conditional statements into inequalities that comprise linear combination of binary variables. Solutions of the suggested optimization problem were obtained. A comparison between these solutions and those of a strategy common in literature is held to show that the new strategy gives same results with less number of constraints and tighter capture of the start-up cost.

IECON 2013 – 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2013, s. 8160–8165.

DOI: 10.1109/IECON.2013.6700498

M. Tuffaha, J. T. Gravdahl: Mixed-integer minimization of the cost function of the Unit Commitment problem for isolated power systems

Unit Commitment (UC) is a minimization problem that aims to schedule the required generating units in a power system over some time horizon to meet the demand based on minimizing the production cost. In this paper, we present a novel technique to minimize such functions based on Mixed-integer formulation, neglecting the time horizon and most of the constraints. This technique can be considered as a first step in a better and tighter mixed-integer formulation of the unit commitment problem, especially for isolated power systems that contain a small number of generating units. Data from isolated power systems on marine vessels are used to test this technique. The proposed technique requires more constraints and binary variables. However, the numerical results presented in this work, show that the proposed method gives more efficient results for low demand, and close results to those obtained from local minimizers when the demand is high. The computational time of the suggested method does not seem to be explicitly longer than the time taken by the local minimizers, especially for small isolated power systems.

52nd Annual IEEE Conference on Decision and Control, 2013, s. 421–428.

DOI: 10.1109/CDC.2013.6759918

M. Tuffaha, J. T. Gravdahl: Modeling and control of a marine diesel engine driving a synchronous machine and a propeller

In some designs of power systems for marine vessels, large-size or medium-size Diesel engine(s) is(are) used to drive one synchronous machine to generate electricity, and the main propeller, simultaneously, through a gear box. Such systems are subject to disturbances that may affect performance and fuel consumption. The most important disturbances occur due to the propeller torque, and load demand on the electric network. In this work, a simplified state-space model is suggested for such systems based on well known models of each component. The model considers the dynamics of the shaft, Diesel engine, and synchronous machine with the propeller in their simplest models. The output voltage and torque coefficient were modeled as uncertain parameters. Then, exploiting feedback linearization, two controllers were suggested for the proposed model to regulate the rotational speed of the shaft. Firstly, by pole placement. The second is a robust controller by mixed H_2/H_∞ synthesis. The results of the simulations of the proposed controller are presented and compared.

2014 IEEE Conference on Control Applications, 2014, s. 897–904.

DOI: 10.1109/CCA.2014.6981450

M. Tuffaha, J. T. Gravdahl: Dynamic formulation of the unit commitment and economic dispatch problems

Economic Dispatch (ED) is the problem of scheduling the output power levels of the committed generating units in a power system, over some time horizon to meet the demand (assuming known) at minimum cost. Optimal Control Dynamic Dispatch (OCDD) uses a dynamic model of the power generation based on ramping constraints. In OCDD, the number of committed units in the system is determined in advance by solving the so-called unit commitment (UC) problem. The progress in the mixed-integer programming algorithms has inspired researchers to combine the ED, and UC in one problem, and then solve it as a static problem. In spite of the speed and accuracy, the static optimization solution can not adapt to fast changes in the power systems. In addition, it suffers from the drawback of violating the ramping rates constraints at the beginning of the planning horizon. In this work, we propose a mixed-integer dynamical model for the power generation to solve both ED, and

UC by optimal control strategy. We show that the proposed method gives more accurate results than common approaches in literature. The proposed approach is well suited for small or isolated power systems.

2015 IEEE International Conference on Industrial Technology, 2015, s. 1294–1298.

DOI: 10.1109/ICIT.2015.7125276

9 Postdoktorarbeid: Design av marine strukturer ved hjelp av morfing

Dette kapittelet inneholder sammendragene fra de vitenskapelige publikasjonene produsert av Ju Young Kang under hans postdoktorarbeid, finansiert gjennom ImproVEDO. Leseren henvises til publikasjonene for mer detaljer.

9.1 Vitenskapelige artikler

J. Y. Kang, B. S. Lee: Application of morphing technique with mesh-merging in rapid hull form generation

Morphing is a geometric interpolation technique that is often used by the animation industry to transform one form into another seemingly seamlessly. It does this by producing a large number of ‘intermediate’ forms between the two ‘extreme’ or ‘parent’ forms. It has already been shown that morphing technique can be a powerful tool for form design and as such can be a useful addition to the armoury of product designers. Morphing procedure itself is simple and consists of straightforward linear interpolation. However, establishing the correspondence between vertices of the parent models is one of the most difficult and important tasks during a morphing process. This paper discusses the mesh-merging method employed for this process as against the already established mesh-regularising method. It has been found that the merging method minimises the need for manual manipulation, allowing automation to a large extent.

Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering 4 (3), 2012, s. 228–240.

DOI: 10.3744/JNAOE.2012.4.3.228

J. Y. Kang: Design of Marine Structures Through Morphing Method and Its Supporting Techniques

External forms of marine structures directly influence their performance. Therefore, it is important that their shapes are optimized in the design process. Modern design optimization techniques often require fast evaluation of large number of design alternatives, and morphing techniques have the ability to generate a large number of designs on demand. Morphing is a geometric interpolation technique that changes one object into another and is capable of creating an infinite number of intermediate forms from parent models. This paper discusses the application of a morphing technique for rapid generation of marine structures. In addition, the paper presents several supporting techniques for addressing some of the problems associated with morphing. It has been found that the morphing technique is a useful additional tool for product design optimization.

Marine Technology Society Journal, 48 (2), 2014, s. 81–89.

DOI: 10.4031/MTSJ.48.2.7

9.2 Konferansebidrag

J. Y. Kang, B. S. Lee: Geometric interpolation and Extrapolation for Rapid Generation of Hull Forms

The geometric interpolation technique, known as morphing, can be used to produce an infinite number of ‘intermediate’ forms between two or more parent forms. The forms thus produced take on the geometrical features of the parents to a varying degree. It has been shown that this technique can be a powerful design tool for products with complex forms, such as ships. On the other hand, the geometric extrapolation technique, a derivative of morphing, is a potentially more creative process, producing forms beyond, but probably exaggerating, the characteristics of the parents. This paper discusses the use of the interpolation and extrapolation techniques in form design. It illustrates the potential of these techniques as a powerful tool for the optimisation process of product design.

11th International Conference on Computer Application and Information Technology in the Maritime Industries (COMPIT'12), 2012, s. 202–212.

J. Y. Kang, B. S. Lee: Application of Morphing Technique to Airfoil Design

Airfoil is a cross section of a wing or blade and can be represented by polygonal lines. Although drawing an airfoil shape is an easy matter, selecting a right shape fit for the purpose is not. The shape of the airfoil profile is a key factor for good performance of the turbines, making it essential to optimise the airfoil for a maximum lift with a minimum drag. This paper discusses the use of morphing technique for a rapid airfoil generation, and it illustrates the potential of the technique as a powerful tool for the process of foil optimisation.

OCEANS, 2012.

DOI: 10.1109/OCEANS-Yeosu.2012.6263576

J. Y. Kang, B. S. Lee: Application of Morphing Technique in Rapid Hull Form Design

11th International Marine Design Conference, 2012.

J. Y. Kang, B. S. Lee: Application of Morphing Technique to Product Design

5th EU-Korea Conference on Science and Technology, 2012.

J. Y. Kang: A Combination of Morphing Technique and Cartesian Grid Method for Rapid Generation of Objects and their Performances

Morphing is a geometric interpolation technique which can produce a great number of ‘intermediate’ forms instantaneously. In addition, the morphing method can be easily and directly used in mesh-based performance assessment programs such as CFD. This paper discusses an application of Cartesian grid method to a commercial CFD program, Fluent, instead of attempting to use a grid which conforms to the boundary. The use of Cartesian grid method allows high quality grid generation of complex geometries produced through morphing technique. Examples of 2D grid generation were studied in this work, but the underlying ideas are clearly extendable to 3D problems as well. It has been found that the combination of morphing technique and Cartesian grid method has great potential as a powerful tool for the optimisation process of product design.

12th International Conference on Computer Application and Information Technology in the Maritime Industries (COMPIT'13), 2013, s. 215–224.

J. Y. Kang: Application of Morphing Technique and Cartesian Grid to Airfoil Design

Airfoil is a cross section of a body such as a wing that creates lift as it moves through a fluid. Although the airfoil is a very simple geometry which can be presented by polygonal lines, the shape is key factor for good performance of the turbines, making it essential to optimise the airfoil for a maximum lift with a minimum drag. This paper discusses the use of morphing technique for a rapid airfoil generation with a Cartesian grid method for a quick mesh generation from the models yielded by the morphing technique for a performance analysis of CFD (Computational Fluid dynamics).

OCEANS, 2013.

DOI: 10.1109/OCEANS-Bergen.2013.6608122

10 Betydning av prosjektet

Resultatene fra dette prosjektet har vært essensielle for flere andre forskningsprosjekt. Disse er:

- *PurSense: Operation monitoring and decision support for purse seiners* (innovasjonsprosjekt i næringslivet, NFR-prosjekt nr. 226378, 2013–2016): Utvikling av system for operasjonell beslutningsstøtte for ringnotfartøy.
- *DANTEQ: Development and assessment of technology improving fishing operation and on-board processing with respect to environmental impact and fish quality* (kompetanseprosjekt med brukermedvirkning, NFR-prosjekt nr. 199447, 2010–2015): Forskning på samspillet mellom energisystem og fangsthåndteringsystem ombord i hvitfisktrålere.
- *eSushi: Informasjonssystem for effektivt og bærekraftig fiskeri* (innovasjonsprosjekt i næringslivet, NFR-prosjekt nr. 245951, 2015–2018): Utvikling av system for beslutningsstøtte vedrørende valg av fiskefelt.
- *Utvikling av hybrid fremdriftssystem for fiskefartøyer: Forprosjekt* (FHF-prosjekt nr. 900922, 2013–2015): Modellerings av hybrid energisystem for små kystfiskefartøy. Beregning av forventet energiforbruk og lønnsomhet.
- *Hybrid energisystem for små fiskefartøy* (innovasjonsprosjekt i næringslivet, NFR-prosjekt nr. 245949, FHF-prosjekt nr. 901186, 2015–2017): Innsamling og analyse av operasjonelle data fra prototyp-sjark med hybrid fremdriftssystem. Videreutvikling av hybrid drivlinje og utstyr ombord.
- *ECO-Shrimp trawling* (brukerstyrt innovasjonsarena, NFR-prosjekt nr. 235324, 2014–2017): Forbedringer av energieffektiviteten ved reketrålning, ved hjelp av systemer for bedre styring av trål og tråldører.
- *Senter for maritime operasjoner – MOVE* (senter for forskningsdrevet innovasjon, NFR-prosjektnummer 237929, 2015–2023): Kompetansesenter for innovasjon innen maritime operasjoner, med fokus på muliggjørende teknologi og metoder samt teknologiutveksling mellom ulike bransjer.

De fleste prosjektene benytter, og bygger i noen tilfeller videre på, plattformen for datainnhenting og -analyse som er utviklet i ImproVEDO. Et unntak er *Utvikling av hybrid fremdriftssystem for fiskefartøyer: Forprosjekt*, som ikke innbefattet datainnsamling i det hele tatt, men der MachOS ble brukt til å beregne forventet energi- og drivstofforbruk.

Resultatene fra prosjektet har generelt gitt mer innsikt i energiflyten ombord i fartøy og hvordan fartøyene drives. Dette har betydning for både redere og for Rolls-Royce Marine som utstyrsleverandør.

11 Videre arbeid

Fortsettelse av arbeidet i dette prosjektet er allerede i gang i flere forskningsprosjekt. En stor del av dette handler om strømlinjeforming, av både prosesser og dokumentasjon. En annen del handler om utvidelser og forbedringer i den programvaren som er utviklet i prosjektet.

Det er også åpenbart at dette prosjektet leder opp til å ta i bruk metoder og verktøy fra “Big Data”. Allerede nå er begrensningene til vanlig databehandling synlige. Dette er ikke så mye på grunn av problem med slike datavolumer for lagring, men ved mange typer analyser av store datamengder vil begrensninger i både minne og hastighet bli påtagelig.

En annen mulig videreføring er innsamling av operasjonelle data i stor målestokk. Prosjektet har fokusert på å velge metoder og verktøy som skalerer godt, både teknisk og økonomisk. Dette er sentrale utfordringer i det man ser for seg en mer utstrakt bruk av operasjonelle data.

Operasjonell beslutningsstøtte av ulike slag vanskeligjøres i dag av at alle skip er ulike. Dette fører til at om man skal lage en applikasjon som utnytter informasjon fra mer enn én datakilde så må man fort skreddersy hver enkelt installasjon til hvert enkelt skip. Resultatene fra Improvedo innbefatter en datadelingsplattform som gjør det enklere å aksessere og distribuere informasjon uten å måtte kjenne til hvilke instrumenter og protokoller som er i bruk på hvert enkelt skip. Dette legger til rette for at man kan utvikle funksjonalitet for fartøy uten å måtte kjenne til detaljer om hvert enkelt fartøy, helt analogt til hvordan man installerer “app”-er på smart-telefoner. Slik funksjonalitet kan typisk være operasjonell beslutningsstøtte innen ulike tema, slik som navigasjon, kranløft, ankerhåndtering, værvindu osv. Det gjenstår imidlertid en del arbeid når det gjelder å utarbeide gode standarder for benevnelse og partisjonering av ulik informasjon. DDS gir mulighet til å benytte ganske komplekse datastrukturer for slik operasjonell informasjon, men slik bruk begrenses av ønsket om at ulike fartøy skal være mest mulig like.

Programvaren *MachOS* fremstår i dag kun som et “proof of concept” og er neppe direkte anvendbar i skipsdesignsammenheng. Til dette kreves det større utvalg av komponentmodeller, komponentmodeller av høyere kvalitet og nøyaktighetsgrad, forbedrede optimaliseringsmetoder som er enklere å bruke og forstå, forbedret presentasjon av resultater samt generell forbedring og forenkling av brukergrensesnitt. Programvaren har likevel avdekket og løst mange av utfordringene man møter om man ønsker å utnytte modeller for design av faretøy.

A Programvareleveranser

Følgende programvare med tilhørende dokumentasjon er utviklet i prosjektet:

MachOS har som formål å gi støtte under design av fartøy, ved å kunne teste ut hvordan ulike designvalg påvirker fartøyets egenskaper. Det fokuseres på valg av komponenter i fartøyets energisystem, så som motorer, generatorer, propell og propulsjonsløsning. Dette vurderes ved å estimere energibruk basert på en driftsprofil. MachOS kan automatisk søke gjennom et stort antall komponenter og innstillinger og finne hvilke som gir det beste resultatet. Dette baseres på optimalisering av både operasjonelle valg og designvalg, og bruker kvasistatiske simuleringer for vurderingene.

STIM inneholder funksjonalitet for lagring og analyse av tidsserier i filformatet NetCDF. Dette filformatet har god støtte for metadata, samtidig som det er binært og støtter komprimering og rask uthenting av data. Dette gjør det velegnet for bruk innen operasjonelle data. STIM inneholder verktøy for periodisk skriving til fil, rask ekstrahering av informasjon fra filer, samt effektiv analyse av store datamengder.

Ratatosk inneholder verktøy og applikasjoner for distribuert datainnsamling. Dette baseres på at integrasjon mot ulike sensorer gjøres i atskilte komponenter som kommuniserer via DDS (Data Distribution System).

DDS er et publish-subscribe rammeverk med metoder for automatisk opprettelse av kontakt mellom komponentene, uten at disse må defineres via ip-adresser. Ratatosk inneholder komponenter for blant annet logging til fil, overvåking av komponenter, synkronisering mot server på land, NMEA, MRU og Modbus.

M4MDE er et programvarebibliotek som inneholder multippel-regresjonsmodeller for estimering av drivstofforbruk, spillvarme og NO_x -utslipp fra middels hurtigløpende 4-takts marine dieselmotorer. Biblioteket er laget for programmeringsspråket C++.

Mer utfyllende informasjon om programvaren finnes i medfølgende dokumentasjon.



Teknologi for et bedre samfunn
www.sintef.no