# FADR - FordonsAdaptiv DriftsReglering

Adaptiva och modellbaserade metoder för förbättrad motor- och fordonsreglering


## Sammanfattning

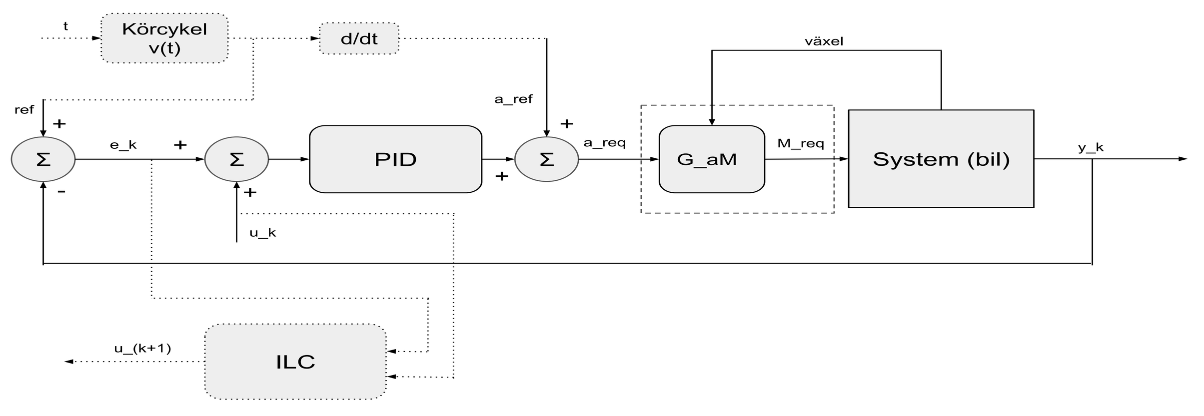
Detta projekt är en del av kursen TSRT10 vid Linköpings universitet. Projektet inkluderar tre delar. Första delen av projektet handlar om körcykelföljning med hjälp av ILC (Iterative Learning Control). Andra delen av projektet berör laddtrycksreglering med hjälp av optimeringsalgoritmer vid namn IFT (Iterative Feedback Tuning). Sista delen av projektet angår modellering av delkomponenter i en förbränningsmotor samt framtagning av en multivariabel regulator för styrning av laddtryck.


## ILC

Körcykelföljning sker idag till stor del av mänskliga förare med tveksam precision och repeterbarhet. Genom att utnyttja och manipulera spelrummet som finns i kraven på körcykelföljning kan bilens utsläpp och förbrukning skiljas åt mellan olika tester. ILC är en självlärande algoritm som vid itererande processer modifierar styrsignalen för att få bästa möjliga styrning.

### Systembeskrivning

ILC-algoritmen arbetar offline mellan varje iteration av körcykeln. En PID-regulator arbetar online och systemet kan även kompletteras med en framkoppling av referenssignalen. Vilken signal som skickas in i bilen kan variera, därför kan en eventuell modell behövas för att transformera insignalen till bilen.



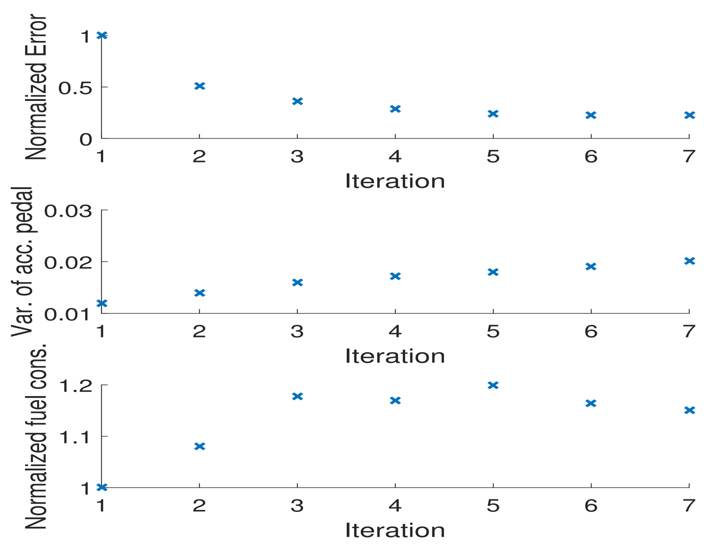

Matematiskt kan ILC-algoritmen beskrivas med:

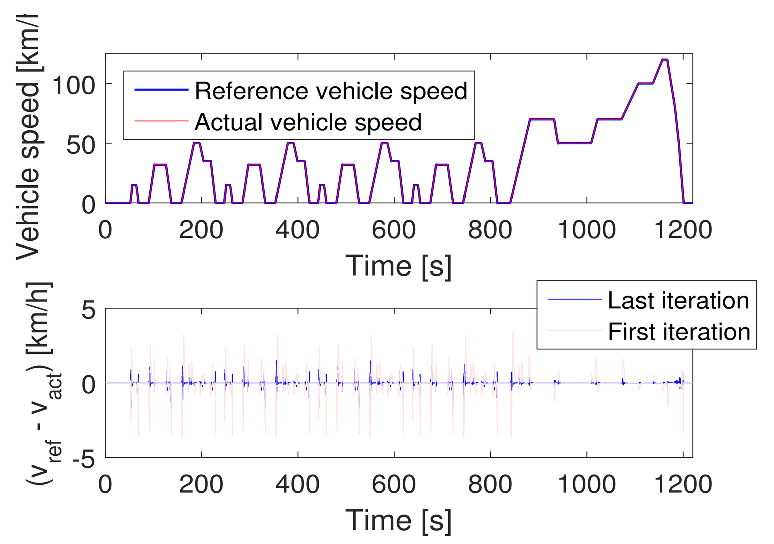
$$u_{k+1} = Q(q)(u_k + L(q)e_k)$$
$$e_k = ref - y_k$$

Där $k$ är körcykeliteration, $u_k$ utsignal från ILC vid iteration $k$ och $e_k$ differenserna mellan referens och utsignal från system vid iteration $k$. $u_{k+1}$ representerar nästa iterations utsignal från ILC. $Q$ och $L$ är filter och $q$ representerar tidsskiftsoperatorn.

### Resultat

Tester har gjorts där olika körcykler, fordonskonfigurationer och framkopplingsmodeller har använts. Nedan visas en konvergensstudie på NEDC utan framkoppling. Felet minskar för varje iteration och skillnaden i avvikelse från referens är påtaglig mellan första och sista iteration.



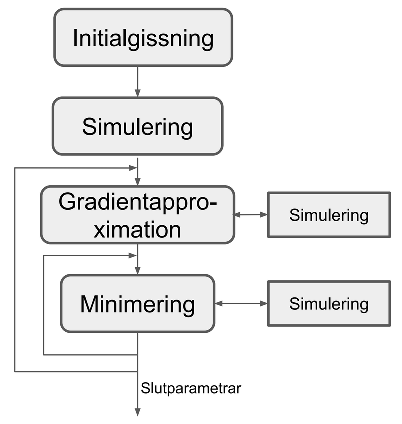




## IFT

Iterative Feedback Tuning är en algoritm som utifrån en målfunktion iterativt optimerar regulatorparametrarna för att minimera felet. I detta projekt används IFT för att optimera laddtrycksregleringen med wastegaten som aktuator.

### Algoritmen

Samtliga steg i algoritmen illustreras i figuren till höger. I första steget simuleras systemet med initialparametrar. Utifrån simuleringsdata görs en gradientapproximation. Därefter påbörjas minimeringen som utförs med Levenberg-Marquardts metod. Minimeringen itereras tills dess att kostnadsfunktionen minskat. När detta gjorts påbörjas nästa iteration av IFT-algoritmen. Efter ett antal iterationer bör goda regulatorparametrar erhållas.




### Kostnadsfunktioner

Kostnadsfunktionen bestämmer det önskade beteendet som IFT-algoritmen ska optimera mot. Följande två kostnadsfunktioner har använts

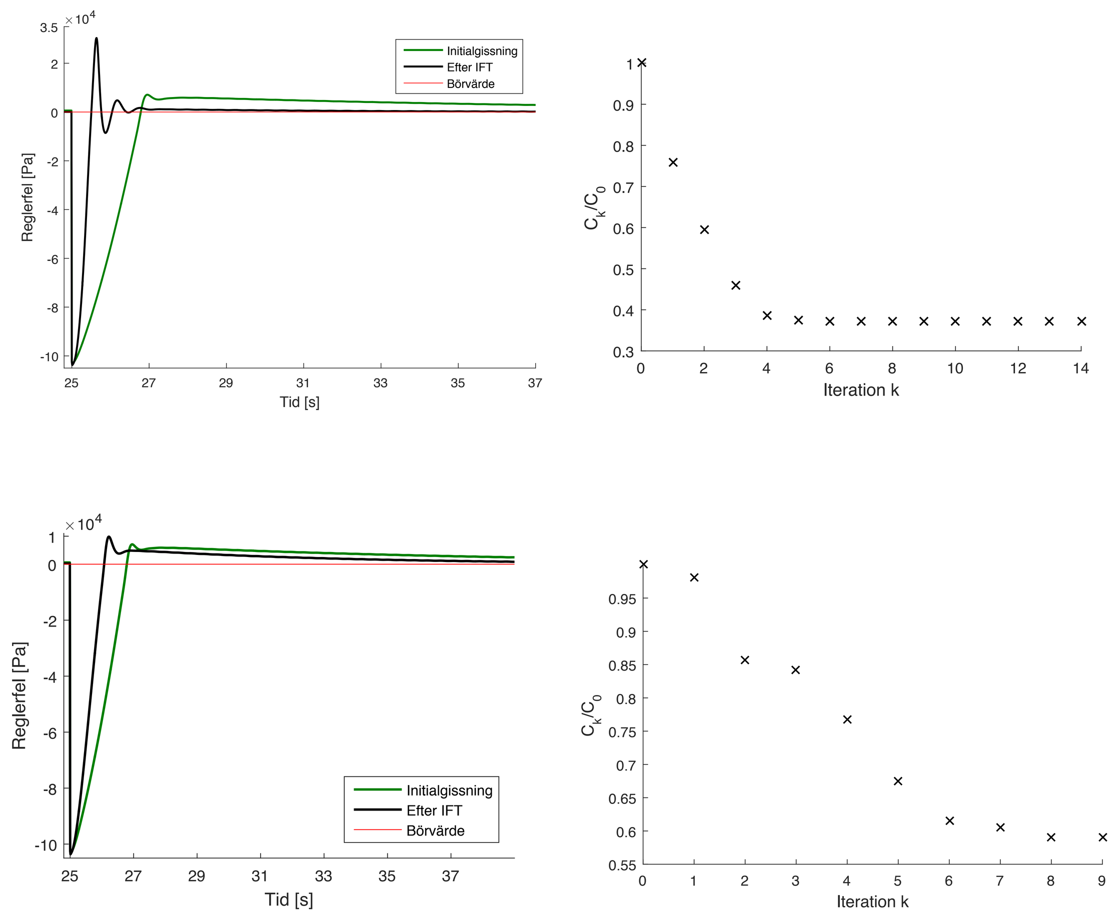
$$C_1(\rho) = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N} e_i^2(\rho)$$

$$C_2(\rho) = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N} e_i^2(\rho) \quad + \quad \alpha \begin{cases} \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N} \dot{e}_i^2(\rho), & \text{då } e(\rho,t) > 0 \ \ \dot{y}(\rho,t) < 0 \\ 0, & \text{annars} \end{cases} \quad + \quad \gamma \begin{cases} \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N} e_i^2(\rho), & \text{då } e(\rho,t) > \beta \\ 0, & \text{annars} \end{cases}$$

där $\alpha$ är vikten på derivatan, $\beta$ är maximalt tillåtet översläng och $\gamma$ är ett stort tal som ska förhindra att den tredje termen kommer med i lösningen. Kostnadsfunktionen, $C_1(\rho)$, minimerar endast reglerfelet i kvadrat. Kostnadsfunktionen, $C_2(\rho)$, minimerar även den reglerfelet i kvadrat men har även bivillkor på derivatan av utsignalen vid översläng samt ett bivillkor på maximalt tillåtet översläng.

### Resultat

De två övre figurerna nedan är med kostnadsfunktionen, $C_1(\rho)$, och de två nedre med $C_2(\rho)$ där $\beta = 1 \cdot 10^4$ använts. Figurerna till vänster visar ett stegsvarstest med ett steg i gaspedalen före och efter optimering med IFT. Figurerna till höger visar hur kostnadsfunktionen minskar med ökat antal iterationer. Samma initialparametrar har använts i båda fallen. Det syns tydligt att valet av kostnadsfunktion har en stor inverkan på slutresultatet.




## Modellering och laddtrycksreglering

Modellering av delkomponenter vid fordonsutveckling är idag viktigt. Med hjälp av modeller kan simulationer byggas för att analysera fordonets beteende då t.ex. dimensioner på fordonets motor ändras. På så sätt sparas det pengar eftersom det inte behöver gå till produktion. I detta projekt har modeller för volymetrisk fyllnadsgrad, grenrörstemperatur och motormoment tagits fram.

### Ekvationer

Den ursprungliga modellen för den volymetriska fyllnadsgraden:

$$\eta_{vol} = C_{vol} \cdot \frac{r_c - \frac{p_{em}}{p_{im}}^{\frac{1}{\gamma}}}{r_c - 1} \frac{T_{im}}{T_{im} - C_1 \cdot (\frac{1}{\lambda} - 1)}$$

Den nya modellen för den volymetriska fyllnadsgraden:

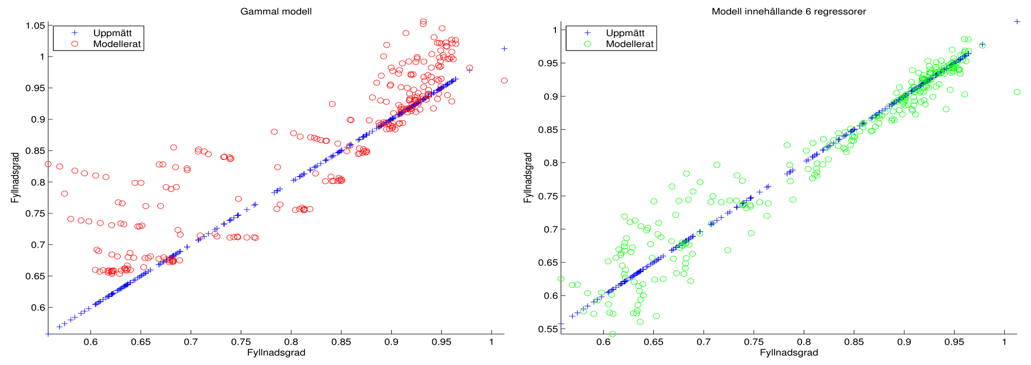
$$\eta_{vol} = \eta_{otto} + p_{im} \cdot \varphi_{ol}^2 + p_{em} \cdot \varphi_{ol}^2 + \sqrt{p_{em}} \cdot \varphi_{ol}^2 + \sqrt{p_{im}} + \sqrt{N}$$

Modellen för det modellerade momentet, där $W_{i,g}$, $W_{i,p}$ och $W_{fr}$ har omparametriserats:

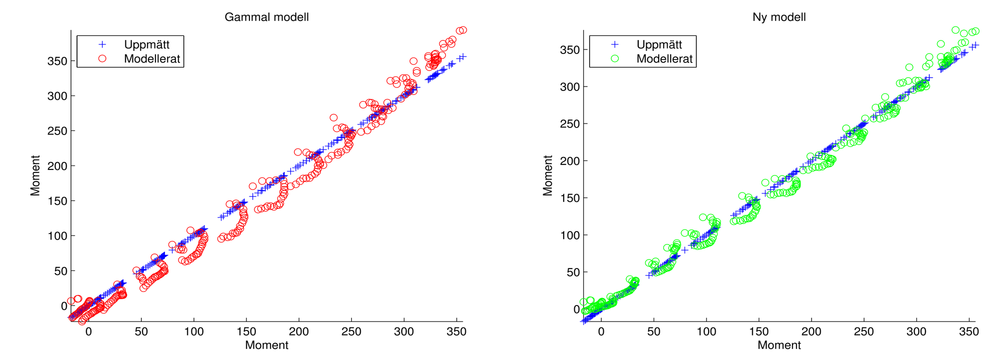
$$M = \frac{W_{i,g} - W_{i,p} - W_{fr}}{n_r 2\pi}$$

### Resultat

En ny förbättrad modell för den volymetriska fyllnadsgraden erhölls som minskade det relativa felet med 3.83 procentenheter.



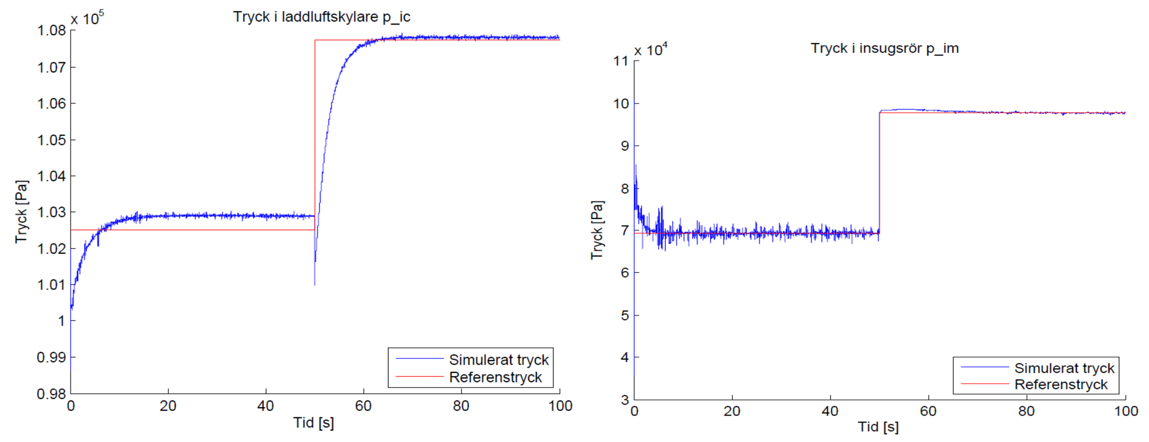

En ny förbättrad modell för den moment erhölls som minskade det relativa felet med 7.11 procentenheter.




### Multivariabel Laddtrycksreglering

En multivariabel parameterskattad laddtrycksreglering av trottel och wastegate togs fram genom stegsvarsprover. Förstärkningen i regulatorn är varvtalsberoende. $F_{diag}$ är en diagonal PI-regulator och $W_2$ är inversen av G(0) för aktuellt motorvarvtal. Nedan visas regulatorstrukturen och referensföljningen av laddluftkylar- och insugsrörstryck vid ett steg.

$$u = \begin{bmatrix} u_{th} \\ u_{wg} \end{bmatrix} = Fe = W_1 F_{diag} W_2 e = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{11} & 0 \\ 0 & F_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{1,11} & W_{1,12} \\ W_{1,21} & W_{1,22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{p\_im} \\ e_{p\_ic} \end{bmatrix}$$





TSRT10 HT2015
Projektmedlemmar: Isac Strömberg, Andrej Verem, Hiren Kerai, Carl-Philip Lartén, Robin Holmbom, Erik Klasén, Henrik Iredahl.
Beställare: Lars Eriksson, Fordonssystem vid Linköpings universitet
Kund: Fredrik Wemmert, Volvo Cars Cooperation



LINKÖPING UNIVERSITY

LINKÖPING UNIVERSITY
Division of Automatic Control