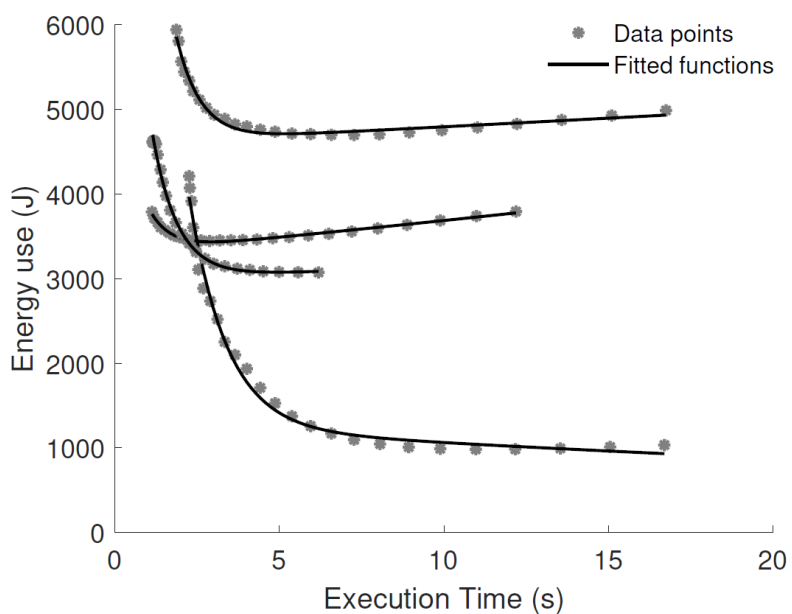


Sustainable motions - SmoothIT

Publik rapport



Författare: Kristofer Bengtsson och Petter Falkman

Datum: 2021-02-09

Projekt inom FFI Hållbar Produktion

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning.....	3
2 Executive summary in English.....	3
3 Bakgrund.....	4
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	4
5 Mål.....	5
6 Resultat och måluppfyllelse	5
7 Spridning och publicering	7
7.1 Kunskaps- och resultatspridning.....	7
7.2 Publikationer	7
8 Slutsatser och fortsatt forskning	8
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	8

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

För närvarande finns fem delprogram; Energi & Miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

SmoothIT-projektet har utvecklat modeller, metoder, verktyg och algoritmer för att optimera energianvändningen av rörliga enheter och öka deras livslängd för att stödja svensk industri. Projektet var uppdelat i tre områden:

1. Energimedveten virtuell beredning och simulering,
2. Övervakning och underhåll,
3. Prediktion och optimering av energianvändning.

Genom att identifiera och analysera ett flertal användningsfall tillsammans med de industriella projektpartnererna, har behov identifierats och möjliga lösningar implementerats och utvärderats.

Några av projektets resultat är:

- minimering av energianvändningen hos robotar genom optimering av rörelsehastigheter,
- optimal rutt och energioptimering av en AGV-flotta,
- optimala robotbanor hos en flexible plug-and-produce station,
- reinforcement learning and flödessimulering för bättre energioptimala styrning i en line med portalrobotar,
- nya funktioner i verktyget IPS från FCC för mjukare och mer korrekta rörelser.

Ett av verktygen utvärderades i Volvo Cars produktion där den totala användningen kunde minskas med 12% och där en robot sparade hela 33%. Ett annat optimeringsverktyg kunde optimera en flotta av AGVer så att de utförde alla sina uppdrag 30% snabbare, med en minskad energiförbrukning av 15%. Om de inte behövde utföra uppgifterna snabbare än i nuläget, kunde energianvändandet minskas med hela 38% genom att köra dem långsammare. Under projektet har också ett antal verktyg utvecklats för att underlätta den virtuella beredningen, tex smart line balansering med hjälp av reinforcement learning, och automatisk robotzonkalibrering, energimedveten online banplanering.

Projektet utfördes av Chalmers Tekniska Högskola, Högskolan Väst, Fraunhofer Chalmers Center, Volvo Car Corporation, AB Volvo, Scania, GKN och ABB.

2 Executive summary in English

The SmoothIT project has developed models, methods, tools and algorithms to optimize the energy use of mobile devices and increase their service life to support Swedish industry. The project was divided into three parts:

1. Energy-aware virtual preparation and simulation,
2. Monitoring and maintenance,
3. Prediction and optimization of energy use.

By identifying and analyzing a number of use cases together with the industrial project partners, needs have been identified and possible solutions have been implemented and evaluated.

Some of the project results are:

- minimizing the energy use of robots by optimizing movement speeds,
- optimal route and energy optimization of an AGV fleet,
- optimal robot paths for a flexible plug-and-produce station,
- reinforcement learning and discrete event simulation for better energy-optimal control in a line with portal robots,
- new features in the IPC tool from the FCC for smoother and more accurate movements.

One of the tools was evaluated in Volvo Car's production where the total use could be reduced by 12% and where a robot saved as much as 33%. Another optimization tool was able to optimize a fleet of AGVs so that they performed all their tasks 30% faster, with a reduced energy consumption of 15%. If they did not have to perform the tasks faster than at present, energy use could be reduced by as much as 38% by

running them more slowly. During the project, a number of tools have also been developed to facilitate virtual preparation, such as smart line balancing using reinforcement learning, and automatic robot calibration, energy-conscious online course planning.

The project was carried out by Chalmers University of Technology, University West, Fraunhofer Chalmers Center, Volvo Car Corporation, AB Volvo, Scania, GKN and ABB.

3 Bakgrund

I en produktionsanläggning är många saker i rörelse. Resurser som truckar, robotar, transportörer, NC-maskiner, AGVer, och människor rör sig ständigt under produktionen. Cykeltiden har traditionellt varit det viktigaste kravet vid beredning av denna typ av produktionssystem, vilket innebär att hållbarhetsfrågor som energianvändning inte har beaktats. Därför är de flesta rörelser och dess hastighet utformad för att vara så snabb som möjligt, även om resursen ibland måste vänta när rörelsen är klar. Snabba rörelser med hög acceleration och retardation är dock inte effektiva när det gäller energianvändning och slitage.

För att förverkliga hållbara produktionssystem är det viktigt att ändra hur rörelserna för olika resurser utformas. Resurser som maskiner, robotar och transportsystem bör därför förfinas och förbättras för att: 1) användas på ett välplanerat sätt, 2) öka livslängden, 3) minska energianvändandet och 4) minska nödvändigt underhåll. Forskning har visat att genom att justera rörelserna för en robot något kan energianvändningen minskas med 10–30%. Dessa rörelser är också mjukare än de ursprungliga rörelserna, vilket ökar livslängden för roboten och dess komponenter genom att minska slitage.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

SmoothIT har haft två huvudsyften: Skapa medvetenhet om energianvändning under beredning med hjälp av virtuella modeller samt kunna energioptimera en produktionsstation både under utveckling och drift. Projektet har utvecklat modeller, metoder, verktyg och algoritmer för att optimera energianvändningen av rörliga enheter och öka deras livslängd och har utvärderat flera av resultaten i produktion med gott resultat.

Projektet var uppdelat i tre områden:

1. Energimedveten virtuell beredning och simulering,
2. Övervakning och underhåll,
3. Prediktion och optimering av energianvändning.

I det första området utvecklades verktyg och metoder för att öka medvetenheten om energianvändning och därigenom realisera design och beslutsstöd under virtuell utveckling för att skapa hållbara rörelser. Det andra området skulle utveckla verktyg och metoder för att övervaka produktionen och identifiera rörelser som behöver förbättras eller underhållsarbete som ska planeras. Detta område påbörjades endast under projektet då projektets resurser endast räckte till för område 1 och 3. I det sista området utvecklades online-verktyg som automatiskt kan optimera produktionen genom att justera rörelserna för att minska energianvändningen och öka enheternas livslängd.

Genom att identifiera och analysera ett flertal användningsfall inom dessa tre områden, hos de industriella projektpartnererna, har behov identifierats och möjliga lösningar implementerats och utvärderats.

5 Mål

Målet i början av projektet var att kunna minska energianvändningen hos olika resurser med upp till 30% och öka deras livslängd med upp till 10%. Tanken var att uppnå dessa mål genom att jobba inom de tre områdena listade ovan. Fokus under projektet har dock främst varit på de område 1 och 3 och på energibesparingar då projektets resurser inte räckte till att fokusera på övervakning och modellering av slitage.

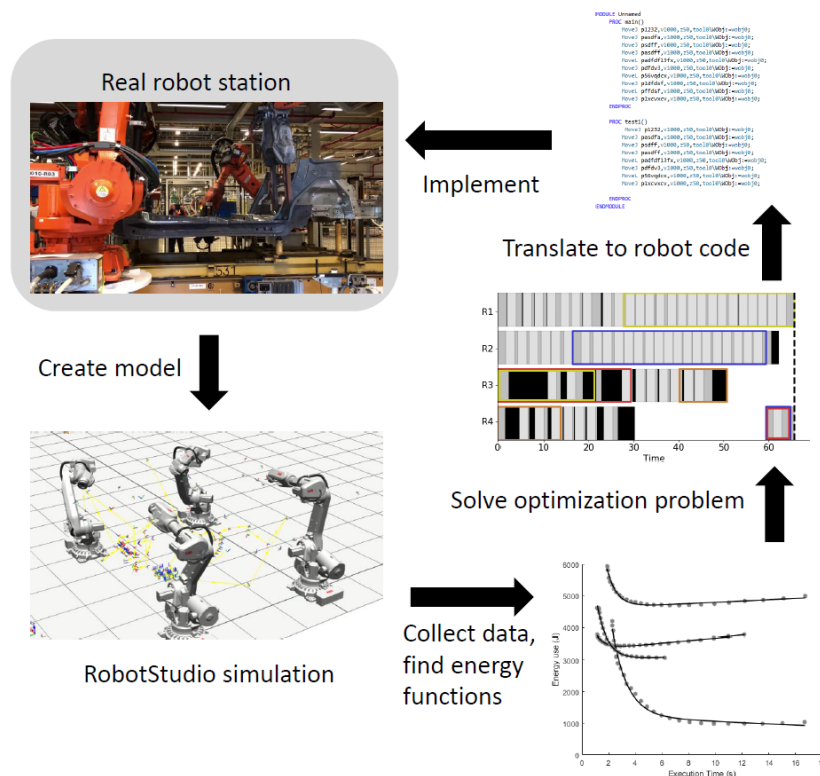
Målet att kunna minska energianvändandet utvärderades under projektet, där den totala energiförbrukningen kunde minskas med 12% i en robotstation med fyra robotar, där en robot sparade hela 33%. En flotta av AGVer kunde också minska energiförbrukning mellan 15-38%.

6 Resultat och måluppfyllelse

Några av projektets resultat är:

- minimering av energianvändningen hos robotar genom optimering av rörelsehastigheter,
- optimal rutt och energioptimering av en AGV-flotta,
- optimala robotbanor hos en flexible plug-and-produce station,
- reinforcement learning and flödessimulering för bättre energioptimala styrning i en line med portalrobotar,
- nya funktioner i verktyget IPS från FCC för mjukare och mer korrekta rörelser.

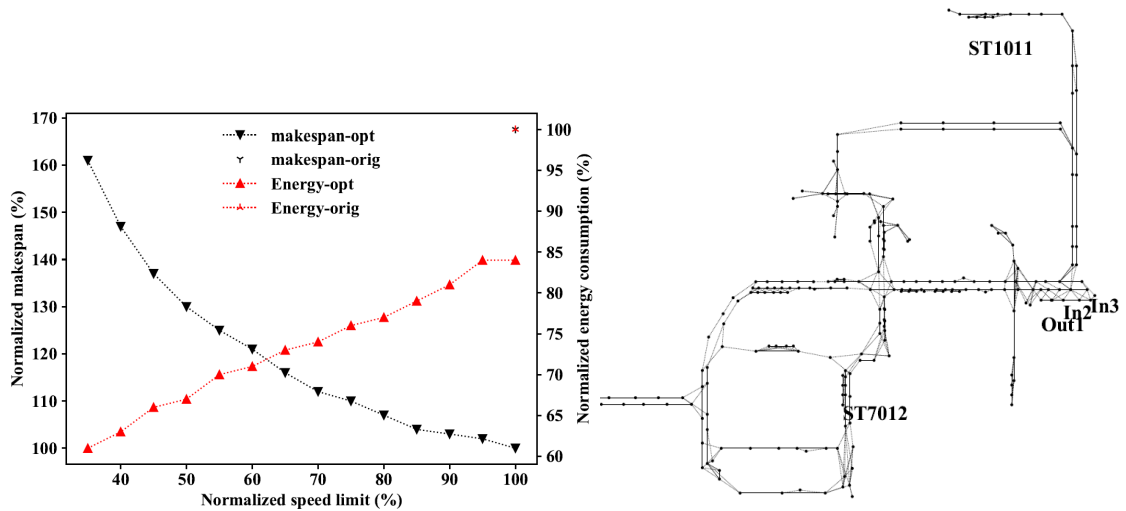
Verktyget som minimerar energianvändningen hos robotar genom optimering av rörelsehastigheter utvärderades i Volvo Cars produktion där den totala användningen kunde minskas med 12% och där en robot sparade hela 33%. Verktyget optimerar robothastigheterna genom de fem steg som visas i Fig. 1.



Figur 1 Fem steg för energioptimering av robotrörelser

Ett annat optimeringsverktyg kunde optimera en flotta av AGVer så att de utförde alla sina uppdrag 30% snabbare, med en minskad energiförbrukning av 15%. Om de inte behövde utföra uppgifterna snabbare

än i nuläget, kunde energianvändandet minskas med hela 38% genom att köra dem långsammare, se Fig. 2.



Figur 2 Rutt och energioptimering av en AGV-flotta

Mer här från HV och FCC

Under projektet har också ett antal verktyg utvecklats för att underlätta den virtuella beredningen, tex smart line balansering med hjälp av reinforcement learning, och automatisk robotzonkalibrering, energimedveten online banplanering.

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultat spridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Är en del en nya forskningsansökan och en del av ITEA3 projektet AITOC.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt		
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut		

7.2 Publikationer

Svedlund. L, Bengtsson. K, Lennartson. B, (2020), "Instability Problems in Co-Simulation of Modular Systems". IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA.

S. Riazi, K. Bengtsson and B. Lennartson, (2020), "Energy Optimization of Large-Scale AGV Systems," in IEEE Transactions on Automation Science and Engineering,

Hovgard. M, Lennartson. B, Bengtsson. K, (2019) "Energy-Optimal Timing of Robot Stations Subject to Gaussian Disturbances", IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA.

S. Riazi, Diding. T, Falkman. P, K. Bengtsson and B. Lennartson, (2019), "Scheduling and routing of agvs for large-scale flexible manufacturing systems". IEEE International Conference on Automation Science and Engineering.

Hovgard. M, Lennartson. B, Bengtsson. K, (2019), "Simulation based energy optimization of robot stations by motion parameter tuning". IEEE International Conference on Automation Science and Engineering.

N. Sundström, O. Wigström and B. Lennartson, (2019) "Robust and energy efficient trajectories for robots in a common workspace setting", IISE Transactions, 51:7, 766-776

S. Riazi, K. Bengtsson and B. Lennartson, (2018), "Parallelization of a gossip algorithm for vehicle routing problems". IEEE International Conference on Automation Science and Engineering.

N. Sundström, O. Wigström and B. Lennartson, "Robust and Energy Efficient Trajectories in a Stochastic Common Workspace Setting," 2018 IEEE 14th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), Munich, 2018, pp. 77-83

S. Riazi, O. Wigström, K. Bengtsson and B. Lennartson, (2017), "Energy and Peak Power Optimization of Time-Bounded Robot Trajectories," in IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 14, no. 2, pp. 646-657

N. Sundström, O. Wigström and B. Lennartson, (2017), "Conflict Between Energy, Stability, and Robustness in Production Schedules," in IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 14, no. 2, pp. 658-668

Ramasamy, S., Zhang, X., Bennulf, M. and Danielsson, F., (2019), "Automated Path Planning for Plug & Produce in a Cutting-tool Changing Application". In 2019 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)

Eriksson, K., Juste, A. and Junefjäll, J. (2021). Reducing energy consumption through production flow simulation: A case study at a car engine manufacturer. 8th International EurOMA Sustainable Operations and Supply Chain Forum La Rochelle Business School - Excelia Group.

Det tillkommer även ett flertal publikationer som för tillfället är inskickade till tidskrifter för review.

8 Slutsatser och fortsatt forskning

En viktig aspekt av ett intelligent och hållbart produktionssystem är minskad energianvändning och minimering av slitage eller stress på resurser och mänskliga operatörer. Ett sätt att uppnå detta är att minska hastigheten och vridmomentet för alla rörelser och uppgifter. I detta projekt utvecklades energiminimeringsalgoritmer som kan schemalägga en uppsättning robotar genom att hitta den energieffektiva hastigheten och samtidigt hålla produktionshastigheten. Detta är möjligt eftersom rörelser eller operatörsarbete oftast utförs i full fart med stillastående väntan mellan uppgifterna. I praktiken är det dock inte lätt att hitta den optimala hastigheten på grund av höga fluktuationer i produktionsstakten och rörliga flaskhalsar som kräver stora marginaler och "slack" (buffertid) i systemet. Det finns en avvägning mellan att sakta ner (spara energi) och ha slack (buffertid) i systemet.

Under SmoothIT-projektet upptäcktes att denna avvägning kunde hanteras med AI-baserade algoritmer som reinforcement learning eller stokastiska modeller som automatiskt kan planera och ställa in produktionshastigheten dynamiskt. För att utveckla dessa algoritmer och göra dem funktionella är dock förbättrade virtuella förberedelser och idrifttagningsverktyg nödvändiga liksom nya intelligenta styralgoritmer.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Chalmers Tekniska Högskola

Kristofer Bengtsson, Petter Falkman,
Bengt Lennartson

Högskolan Väst

Kristina Eriksson, Sudha Ramasamy

Fraunhofer-Chalmers-Center, FCC

Daniel Gleeson, Johan Carlson

Volvo Cars

Rei Palm, Stefan Axelsson, Johan
Junefjäll

AB Volvo

Zhiping Wang, Andreas Olsson

Scania

Andreas Rosen, Lars Hanson

ABB

Magnus Seger

GKN

Andreas Rudquist,