

Izboljšava proizvodnih procesov z modeliranjem in simulacijo – inženirski pristop

Simon Štampar¹, Igor Škrjanc², Božidar Bratina³, Saša Sokolič¹

¹Metronik d.o.o., Stegne 9a, 1000 Ljubljana

² Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Tržaška 25, 1000 Ljubljana

³ Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru,

Smetanova ulica 17, 2000 Maribor

simon.stampar@metronik.si, igor.skrjanc@fe-uni.com,
bozidar.bratina@uni-mb.si, sasa.sokolic@metronik.si

Improving production processes by modeling and simulation - an engineering approach

Modeling and simulations for analysis and optimization purposes of production processes is becoming more and more popular because it is a cheaper and faster alternative to testing on real processes. With the optimizations we are able to increase productivity, enhance product quality and lower the production costs. Since the modeling can be very challenging, it is advisable to use a product that already provides tools for modeling and simulation. Such product is the Proficy Troubleshooter, which contains powerful analytical tools for acquiring knowledge about the production process from existing data. From the knowledge of the production process and knowledge acquired through Proficy Troubleshooter we can improve the processes. In addition, the model designed with this tool combined with the tool Proficy Cause + can build a real-time application for on-line parameter monitoring, which enables us a fast control action in case things go wrong (intelligent alarming).

Kratek pregled prispevka

Modeliranje in simulacija postajata čedalje bolj priljubljeni orodja za analizo in optimizacijo proizvodnih procesov, ker tak način dela omogoča cenejšo in predvsem hitrejšo alternativo testiranjem na realnih procesih - napravah. Optimizacija proizvodnih procesov nam lahko poveča produktivnost, viša kvaliteto proizvoda in nižja stroške proizvodnje. Ker je modeliranje lahko zelo zahtevno, je priporočljiva uporaba produkta, ki že vsebuje orodja za modeliranje in simulacijo. Primer takega programa je Proficy Troubleshooter, ki vsebuje močna analitična orodja za pridobivanje znanja o procesu iz obstoječih podatkov. S tem ko identificiramo vzroke variacij in problemov, boljše razumemo proces in povezave med parametri. Z znanjem o proizvodnem procesu in znanjem pridobljenim s programom Troubleshooter lahko izboljšamo njegovo delovanje. Razen tega lahko na podlagi modela zgrajenega s programom Troubleshooter v kombinaciji s programom Proficy Cause+ zgradimo sprotno (on-line) spremljanje merljivih parametrov in pravočasno ukrepanje v primeru, če stvari gredo narobe (inteligentno alarmiranje).

1 Uvod

Z modeliranjem in simulacijo industrijskih procesov se ukvarja čedalje več podjetij, saj jim to zagotavlja višjo produktivnost, kvaliteto in nižja stroške proizvodnje. Modeli posameznih delov proizvodnega procesa nam lahko dajejo ključne informacije, ki vplivajo na odločitve pomembne za življenjski cikel produkta in pomagajo pri odkrivanju napak oziroma pomanjkljivosti v procesu proizvodnje produkta, kot je to opisano v delu [1].

Model procesa lahko zgradimo s pomočjo teoretičnega modeliranja opisano v delih [2] in [3] ali identifikacijo procesa opisano v delu [6]. Pri gradnji teoretičnega modela ne potrebujemo delujočega sistema, saj dinamiko procesa opišemo z linearnimi in nelinearnimi matematičnimi formulami. Taka gradnja modela zahteva zelo veliko znanja iz področja modeliranja in detajlnega poznavanja procesa. Težava nastane pri bolj kompleksnih procesih, kot je opisano v raziskavi [4], kjer imamo več vhodnih in izhodnih parametrov in komplicirano dinamiko sistema. Identifikacija na drugi stani ne zahteva veliko znanja na področju modeliranja, saj s principom črne škatle (ang. black-box) modeliramo tudi zelo kompleksno dinamiko procesa. Za identifikacijo procesa je potrebno definirati vhodne, izhodne parametre, identifikacijsko orodje, ter pridobiti zgodovinske vrednosti parametrov. Izgradnja modela je še enostavnejša, če uporabimo produkt, ki že vsebuje orodje za identifikacijo dinamike procesa. Primer takega programa je Proficy Troubleshooter [7].

Z izvajanjem simulacij na zgrajenem modelu proizvodnega procesa želimo pridobiti čim več informacij pomembnih za proces, kot je opisano v delu [5]. S spreminjanjem vhodnih parametrov procesa raziščemo in analiziramo obnašanje izhodnih parametrov in bolj jasno razumemo proces ter povezave med parametri. Na tak način lahko pri procesih ugotovimo možne vzroke problemov povezanih s slabimi (končnimi oz. vmesnimi) produkti in slabimi šaržami. Z odkrivanjem in odpravljanjem napak

povečamo kvantiteto, zvišamo kvaliteto in optimiziramo stroške proizvodnje. Vse te analize lahko naredimo s produktom Proficy Troubleshooter.

V kompleksnih proizvodnih procesih si velikokrat želimo sprotno (ang. on-line) spremljanje merljivih parametrov in pravočasno ukrepanje v primeru, če stvari gredo narobe. Na podlagi modela zgrajenega s programom Proficy Troubleshooter in programom Proficy Cause+ [8] je možno izdelati sprotno spremljanje proizvodnega procesa in hitro ukrepanje, ki ga imenujemo inteligentno alarmiranje.

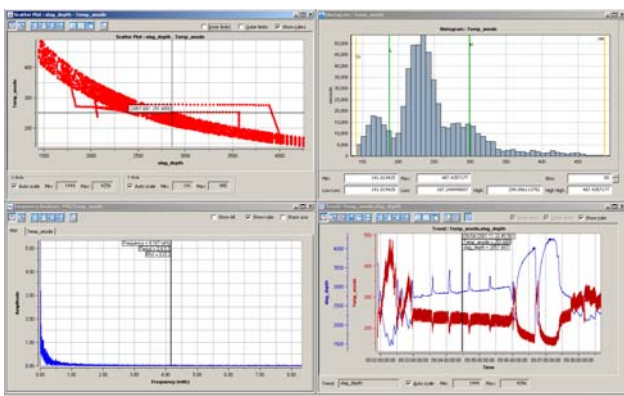
2 Modeliranje z identifikacijo

V uvodnem poglavju smo ugotovili, da je identifikacija precej enostavnejša od teoretičnega modeliranja. Prav tako je za razvoj modela z identifikacijo potrebno bistveno manj časa, še posebej če uporabimo programski paket, ki že vsebuje orodja za identifikacijo dinamike procesov. Tak primer programa je Proficy Troubleshooter, ki nas s preprostimi koraki vodi od uvoza podatkov iz neke baze do modeliranja in simulacije.

Proficy Troubleshooter vsebuje močna analitična orodja, ki uporabljajo najnovejše metode za pridobivanje znanja o procesu iz zgodovinskih podatkov. Velika prednost tega programa je, da se lahko direktno poveže na bazo zgodovinskih podatkov programa Proficy Historian [9], kar nam zagotavlja enostaven in hiter uvoz podatkov v delovno okolje programa Proficy Troubleshooter, kjer lahko analiziramo, modeliramo in simuliramo tako zvezne procese, kot tudi šaržne procese. Zvezni procesi vključujejo spremljanje določenih izhodnih parametrov ključnih za kakovost produkta. Od trenutka, ko se razmere stabilizirajo želimo doseči optimalno delovanje procesa čim več časa. Po standardu S88 je šaržni proces definiran kot proces, ki vodi do proizvodnje določene količine produkta z obdelavo vhodnih materialov po določenem vrstnem redu.

2.1 Zvezni procesi

Takoj ko uvozimo podatke zveznih procesov v delovno okolje programa Troubleshooter lahko začnemo z vizualizacijo in analizo relacij med parametri procesa. Troubleshooter nam omogoča vizualizacijo parametrov z grafi (Slika 1 - desno spodaj), histogrami (Slika 1 - desno zgoraj), frekvenčno analizo (Slika 1 - levo spodaj) in medsebojno primerjavo parametrov v kartezičnih koordinatah (Slika 1-levo zgoraj). V grafih in histogramih Troubleshooter določi območja, katera kažejo na normalne, visoke in nizke vrednosti posameznih parametrov. Ta pravila oziroma meje, ki jih lahko tudi sami spremenimo, se bodo upoštevala pri izgradnji modela procesa. Razen tega ima Proficy Troubleshooter tudi orodje, ki izračuna zakasnitve med parametri. Na ta način lahko enostavno odčitamo s kako zakasnitvijo je določen vhodni parameter vplival na določen izhodni parameter.



Slika 1: Analiza podatkov v delovnem okolju programa Proficy Troubleshooter

Za potrebe izdelave modela je potrebno pregledati linearne odvisnosti vhodnih parametrov obravnavanega procesa. To v programu Troubleshooter storimo z izračunom korelacije med posameznimi vhodnimi parametri. Z izračunom korelacije lahko za parametre, ki kažejo na visoko medsebojno linearno odvisnost, zmanjšamo število vhodnih parametrov modela. Z zmanjšanjem števila vhodnih parametrov bomo poenostavili model in zmanjšali vpliv šuma pri izgradnji modela. Pri eliminaciji vhodnih parametrov procesa

moremo imeni nekaj znanja o samem procesu, da ne eliminiramo tistih, ki so kljub visoki linearni odvisnosti pomembni pri konstrukciji modela.

V naslednjem koraku program Troubleshooter na podlagi izbranih vhodnih in izhodnih parametrov zgradi dva modela: nelinearni model in model na podlagi pravil, ki smo jih določili na grafih in histogramih. Nelinearni model se generira na podlagi mehkih modelov in trikotnih pripadnostih funkcij, katere določajo definirana pravila v histogramih in grafih. Razlika med tema dvema modeloma je v tem, da je izhod modela na podlagi pravil diskretna vrednost, ki je lahko nizka, normalna ali pa visoka. Izhod nelinearnega pa zvezna funkcija. Troubleshooter uporabi 70% razpoložljivih podatkov za konstrukcijo modela, 30% pa za njegovo verifikacijo.

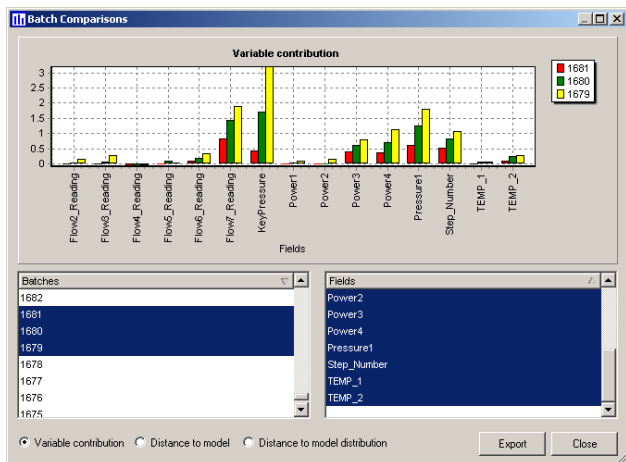
Razen tega ima program možnost izgradnje odločitvenega drevesa, ki ga uporabimo za direktno iskanje vzroka napake, slabe kakovosti produkta pri procesu. Deluje po principu kateri izmed vhodnih parametrov je najbolj vplival, da je želeni izhod procesa šel izven definiranih pravil oziroma mej, ki smo jih določili v grafih in histogramih.

2.2 Šaržni procesi

Pri šaržnih procesih s pomočjo referenčnega modela najboljše oziroma povprečja nekaj (boljših) šarž, ki jo imenujemo zlata šarža (ang. Golden Batch), želimo ugotoviti odstopanja ostalih (slabših) šarž. Na ta način lahko hitro ugotovimo v katerih parametrih so se »slabe« šarže razlikovale od zlate referenčne šarže ter s pravilnimi ukrepi izboljšamo proces.

Proficy Troubleshooter za šaržne procese nam omogoča, da lahko zgodovinske podatke sortiramo po diskretnih identifikatorjih, recimo po oznaki šarže. Na ta način lahko primerjamo posamezne procesne vrednosti in opazujemo kje in za koliko se med potekom šarž razlikujejo med sabo. Proficy Troubleshooter nam razen tega tudi zgradi zlato referenčno šaržo, ki jo lahko primerjamo z ostalimi (Slika 2). Iz te primerjave lahko hitro vidimo v katerih

parametrih so se »slabe« šarže razlikovale od zlate referenčne šarže. S tem ko najdemo vzroke slabih šarž lahko s pravilnimi ukrepi optimiziramo proces in minimiziramo variacije med šaržami.



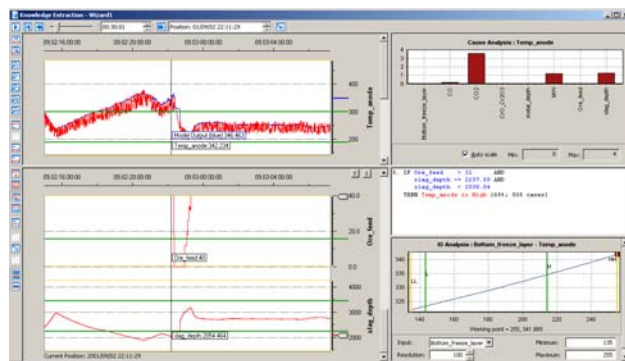
Slika 2: Odstopenja procesnih vrednosti posameznih šarž od zlate referenčne šarže

3 Simulacije

V naslednjem koraku bomo prikazali kako lahko s pomočjo simulacij na izdelanem modelu izboljšamo delovanje zveznega procesa. Na podlagi analize modela zgrajenega s programom Proficy Troubleshooter bolj jasno razumemo proces ter povezave med parametri.

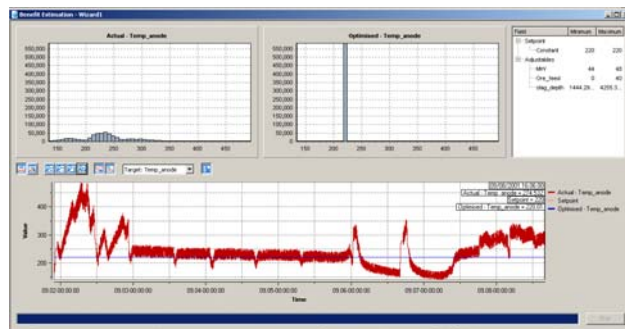
Ko zaženemo simulacijo lahko v programu Proficy Troubleshooter sproti spremljamo vrednost vseh vhodnih parametrov in primerjavo identificiranega modela in meritev iz procesa. Ne le to, da jih lahko spremljamo, lahko jih tudi spreminjamo in raziskujemo kako bi spremenjeni vhodni parameter vplival na izhod procesa (Slika 3 - levo). Razen tega nam Proficy Troubleshooter naredi vhodno - izhodno analizo parametrov (Slika 3 – desno spodaj), pravila na podlagi katerih se je generiral model (Slika 3 – desno sredina) in analizo vzroka za trenutno vrednost izhodnega parametra (Slika 3 – desno zgoraj). Slednji nam med potekom simulacije kaže velikost vpliva posameznih vhodnih parametrov na izhod procesa. S spreminjanjem vrednosti vhodnih parametrov poskušamo ugotoviti vzroke problemov ter s

pravilno nastavitvijo le teh dobiti optimalno delovanje procesa. Predloge za izboljšave pridobljene s pomočjo simulacij poskušamo uporabiti pri procesu, ter tako povečati kvantiteto, zvišati kvaliteto in optimizirati stroške proizvodnje.



Slika 3: Analiza delovanja procesa in povezav med parametri

Program Proficy Troubleshooter omogoča tudi avtomatsko optimizacijo procesa. Uporabniku je potrebno definirati le vhodne parametre, ki jih bo Troubleshooter nastavil na tako vrednost, da bo optimiziral delovanje procesa na želeno vrednost izhodnega parametra (Slika 4). Z upoštevanjem izboljšav predlaganih s strani programa Proficy Troubleshooter lahko še dodatno izboljšamo delovanje procesa. Pri implementaciji predlaganih rešitev oziroma izboljšav moramo imeti precej znanja o samem procesu, ki ga raziskujemo, saj program Proficy Troubleshooter uporablja le analitično orodja za izboljšavo procesov z modeliranjem in simulacijo. Z drugimi besedami povedano, program ne ve, kaj lahko in česar ne sme narediti.

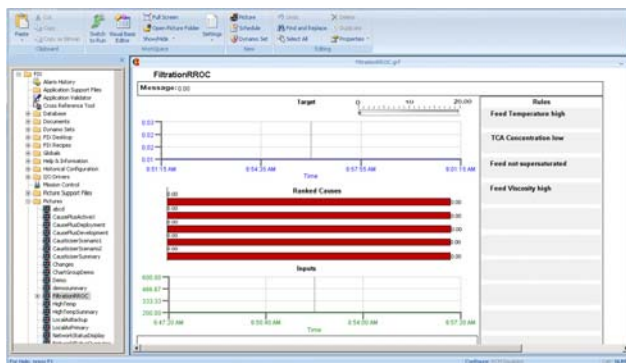


Slika 4: Optimizacija procesa

4 Inteligentno alarmiranje

Kot je bilo že v uvodnem poglavju povedano si v proizvodnih procesih velikokrat želimo sprotno spremljanje merljivih parametrov in pravočasno ukrepanje v primeru, če stvari gredo narobe. Na podlagi modela zgrajenega s programom Proficy Troubleshooter in programom Proficy Cause+ je možno razviti aplikacijo za sprotno spremljanje proizvodnega procesa, ki ga imenujemo inteligentno alarmiranje.

Razvito rešitev za inteligentno alarmiranje lahko brez težav implementiramo na sistem namenjen nadzoru in krmiljenju tehnoloških procesov (ang. *Supervisory Control and Data Acquisition* - SCADA) proizvajalca Proficy HMI/SCADA iFix [10] (Slika 5). Rešitev razvita s produkti podjetja GE Intelligent Platforms predlaga operaterjem vnaprej določene akcije v primeru, ko kateri izmed vhodnih parametrov gre izven določenih mej. Na tak način z pravočasnim ukrepanjem lahko zmanjšamo oziroma preprečimo izpad proizvodnje, povečamo kvaliteto in kvantiteto produkta.



Slika 5: Inteligentno alarmiranje

5 Zaključek

Izboljšava procesov z modeliranjem in simulacijo postaja čedalje bolj priljubljena. Tak način optimizacije proizvodnje podjetjem omogoča cenejšo in predvsem hitrejšo alternativo testiranjem na realnem procesu. Z optimizacijo industrijskih procesov zagotovimo

višjo produktivnost, povečamo kvaliteto in nižamo stroške proizvodnje. Za izgradnjo dobrega modela proizvodnega procesa potrebujemo veliko znanja s področja modeliranja in poznavanja samega procesa. Zaradi tega je veliko enostavneje uporabiti produkt, ki že vsebuje orodja za modeliranje in simuliranje proizvodnih procesov. Primer takega programa je Proficy Troubleshooter, ki vsebuje močna analitična orodja z najnovejšimi metodami za pridobivanje znanja o proizvodnih procesih iz obstoječih zgodovinskih podatkov.

S programom Proficy Troubleshooter lahko analiziramo in optimiziramo relacije med parametri zveznega procesa in iščemo variacije parametrov pri šaržnih sistemih glede na referenčno zlato šaržo. S tem ko identificiramo vzroke variacij in problemov boljše razumemo proces ter povezave med parametri. Z znanjem o proizvodnem procesu in znanjem pridobljenim s programom Troubleshooter lahko izboljšamo njegovo delovanje.

Razen tega lahko model zgrajen s programom Proficy Troubleshooter uporabimo za tako imenovano inteligentno alarmiranje, ki v kombinaciji s programom Proficy Cause+ omogoča sprotno (ang. on-line) spremljanje merljivih parametrov in pravočasno ukrepanje v primeru, če stvari gredo izven določenih pravilnej delovanja.

6 Literatura

- [1] I.T. Cameron, G.D. Ingram, *A survey of industrial process modelling across the product and process lifecycle*, Computers & Chemical Engineering, Vol. 32 (2008), pp. 420-438.
- [2] A.A. Linninger, S. Chowdhry, V. Bahl, H. Krendl H. Pinger, *A systems approach to mathematical modeling of industrial processes*, Computers & Chemical Engineering, Vol. 24 (2000), pp. 591-598.
- [3] S. Štampar, S. Sokolič, G. Karer, A. Žnidaršič, I. Škrjanc, *Theoretical and fuzzy modelling of a pharmaceutical batch reactor*, Mathematical and Computer Modelling, Vol. 53 (2011), pp. 637-645.
- [4] L. A. N. Amaral and J. M. Ottino, *Complex systems and networks: challenges and opportunities for chemical and biological engineers*, Chemical Engineering Science, Vol. 59 (2004), pp. 1653-1666.

- [5] E. Németh I.T. Cameron, K.M. Hantos, *Diagnostic goal driven modelling and simulation of multiscale process systems*, Computers & Chemical Engineering, Vol. 29 (2005), pp. 783-796.
- [6] R. Haber, L. Keviczky, *Nonlinear system identification: input – output Modeling approach*, Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [7] Proficy Troubleshooter - URL: <http://www.ge-ip.com/products/3391>
- [8] Proficy Cause+ - URL: <http://www.ge-ip.com/products/3392>
- [9] Proficy Historian - URL: <http://www.ge-ip.com/products/2420>
- [10] Proficy HMI/SCADA iFix - URL: http://www.ge-ip.com/products/family/proficy_hmiscada_ifix

Zahvala

Operacijo delno financira Evropska unija, in sicer iz Evropskega socialnega sklada.