



Akademie věd České republiky  
Ústav teorie informace a automatizace

Academy of Sciences of the Czech Republic  
Institute of Information Theory and Automation

## RESEARCH REPORT

J. ANDRÝSEK, P. ETTLER

**Rozšíření poradního systému pomocí teorie  
víceúčastnického rozhodování**

No. 2204

15. listopadu 2007

**AV ČR 1ET 100 750 401, MŠMT ČR 1M0572**

ÚTIA AVČR, P.O.Box 18, 182 08 Prague,  
Czech Republic

Fax: (+420)286890378, <http://www.utia.cz>, E-mail: [utia@utia.cas.cz](mailto:utia@utia.cas.cz)

# 1 Úvod

Jedním z výsledků projektu ProDacTool [1, 2] byla implementace poradního systému pro operátora vratné válcovací stolice. V rámci centra DAR byly na přelomu roků 2005/2006 provedeny testy užití v té době nových algoritmů pro podporu rozhodování v tomto poradním systému [3]. Po dobu pěti měsíců byl poradní systém provozován postupně v 18 "módech" lišících se kombinací typu použitých směrů pro aproximaci modelu systému (2 varianty: statický, dynamický model) a pro vyjádření požadovaného cíle (3 varianty) a způsobem optimalizace (3 varianty : akademický, industriální a simultánní návrh).

Doporučené hodnoty nastavení klíčových hodnot nebyly předkládány operátorům, ale byly zaznamenávány spolu s ostatními daty. Testování bylo založeno na předpokladu, že po předchozím provozu systému a s mnohaletými zkušenostmi se operátoři pohybují se svými nastaveními blízko optimálních hodnot. Jako míra kvality poradního systému byla pak brána shoda doporučení generovaných systémem s aktuálními akcemi operátorů. Analýza výsledků tehdy ukázala, že není možné jednoznačně zvolit jeden z 18-ti módů jako nejlepší.

## 2 Formulace problému

Cílem této práce bylo využití nových poznatků pro opětovné zpracování testovacích dat a porovnání nových výsledků s původními.

## 3 Řešení problému

Problém s "on-line" výběrem správného módu byl řešen pomocí teorie víceúčastnického rozhodování. Každý z 18-ti zavedených módů byl označen jako jeden účastník. Dále byl vytvořen další účastník, který komunikoval se všemi ostatními a podle nich vylepšoval své chování. Váha jednotlivých účastníků byla určena jako věrohodnost (likelihood) jejich modelu uzavřené smyčky s dosazenými bodovými odhady parametrů. Výsledná rada byla určena na základě teorie Bayesovského adaptivního víceúčastnického rozhodování [4, 5].

## 4 Volba experimentů

Byly provedeny testy na stejných datech jako se prováděl původní experiment [3]. Pro snadnější porovnání výsledků však byly zavedeny následující úpravy:

- Původně se vyhodnocovala shoda porad u každého ze tří (občas dvou) nastavovaných kanálů zvlášť. Nově se počítalo s jejich průměrem.
- Původně se pro každý z 18-ti módů zvlášť vyhodnocovaly výsledky pro 3 skupiny záznamů – první úběr, sudé úběry a další liché úběry. Nově bylo od rozlišování na úběry upuštěno a výsledky z několika souborů byly zprůměrovány s vahou proporcionalní k počtu dat v daném souboru, aby výsledkem byla jedna hodnota.
- Pro každý z 18-ti módů byl porovnáván původně dosažený výsledek s výsledkem novým na stejných datech.

## 5 Implementační detaily

Výsledný model uzavřené smyčky vytvořený pomocí industriálního návrhu obsahuje často téměř deterministickou část odpovídající regulátoru. Věrohodnost takového modelu na minulých datech je pak příliš malá. Proto byl rozptýl u veličin (kanálů), kterých se generovaná doporučení týkají, v případě industriálního návrhu uměle zvýšen na rozptýl, který měly tyto kanály v odhadnutém modelu.

## 6 Výsledky

V tabulce 1 jsou zobrazeny výsledky vyhodnocení kritéria shody pro všech 18 módů. Z tabulky je evidentní, že shoda vylepšeného poradního systému je vyšší ve všech případech kromě jednoho. Důležité je, že všechny hodnoty kritéria shody jsou větší než 0.75, což byla hranice dobré shody použitá v původní publikaci.

$n_c$	$M_I$	$M_T$	$M_A$	původně	nově
1	stat	max	acad	0.4396	0.9368
2	stat	max	ind	0.4438	0.9409
3	stat	max	simult	0.3531	0.9556
4	stat	mov	acad	0.6521	0.9375
5	stat	mov	ind	0.6470	0.9198
6	stat	mov	simult	0.5687	0.7063
7	dyn	max	acad	0.6339	0.9087
8	dyn	max	ind	0.5659	0.8315
9	dyn	max	simult	0.0837	0.8498
10	dyn	mov	acad	<u>0.9548</u>	<u>0.9029</u>
11	dyn	mov	ind	0.9355	0.9427
12	dyn	mov	simult	0.1914	0.8819
13	stat	est	acad	0.5532	0.8167
14	stat	est	ind	0.5683	0.9550
15	stat	est	simult	0.6019	0.9246
16	dyn	est	acad	0.7079	0.8779
17	dyn	est	ind	0.6414	0.8760
18	dyn	est	simult	0.8148	0.8866

Tabulka 1: Porovnání starých a nových výsledků.  $M_I$ ,  $M_T$ ,  $M_A$  znamenají postupně směsi reprezentující model procesu, požadovaný cíl a způsob optimalizace.

## 7 Další vyhodnocení

Jako kvalita poradního systému byla používána shoda porad s akcemi, které skutečně provedl operátor. Aby naše závěry mohly být kompletní, bylo by třeba ještě ukázat, že nevhodné akce operátora se od porad liší více než akce dobré.

Pokusili jsme se alespoň částečně takový test provést. Pro každý z 18-ti datových množin bylo spočítáno kritérium kvality řízení. Poté byla zkoumána závislost kvality a shody porad s operátorem.

Velmi důležitým krokem analýzy je volba kritéria kvality. Kvalita se posuzuje podle odchylky výsledné tloušťky plechu od žádané hodnoty. Spravedlivé kritérium hodnotící operátora ovšem musí vzít v úvahu také vstupní kvalitu plechu.

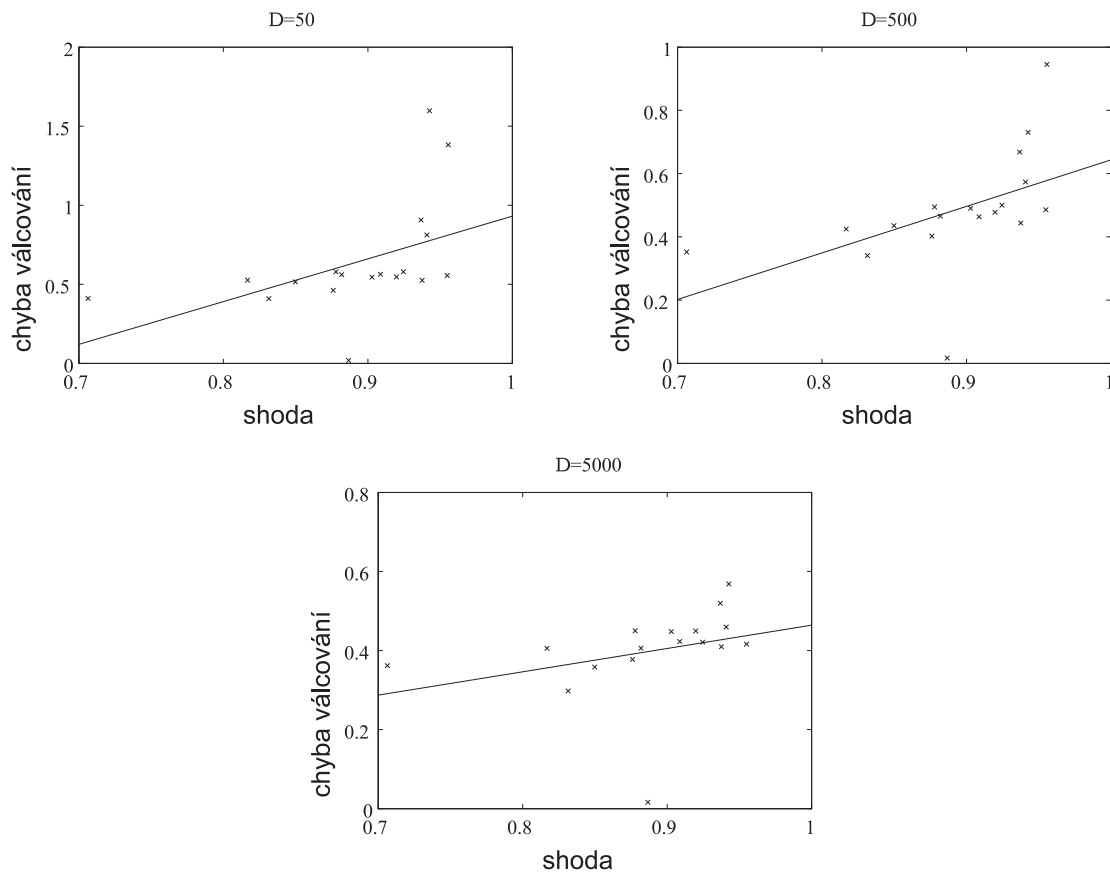
Pro testování bylo nejprve použito následující kritérium:

Každá datová množina byla rozdělena na  $K$  množin po  $\Delta$  záznamech. Chyba operátora byla potom počítána následujícím způsobem:

$$Errr = \sum_{k=1}^K \frac{\sum_{t=(k-1)\Delta+1}^{k\Delta} y_t^2}{\sum_{t=(k-1)\Delta+1}^{k\Delta} u_t^2}, \text{ kde}$$

$y_t$  je odchylka výstupní tloušťky od žádané hodnoty a  $u_t$  je odchylka vstupní tloušťky od nominální hodnoty.

Na obrázku 1 je vykreslena závislost shody a chyby válcování. Tuto závislost jsme zkoumali pro různé hodnoty  $\Delta = 50, 500, 5000$ .

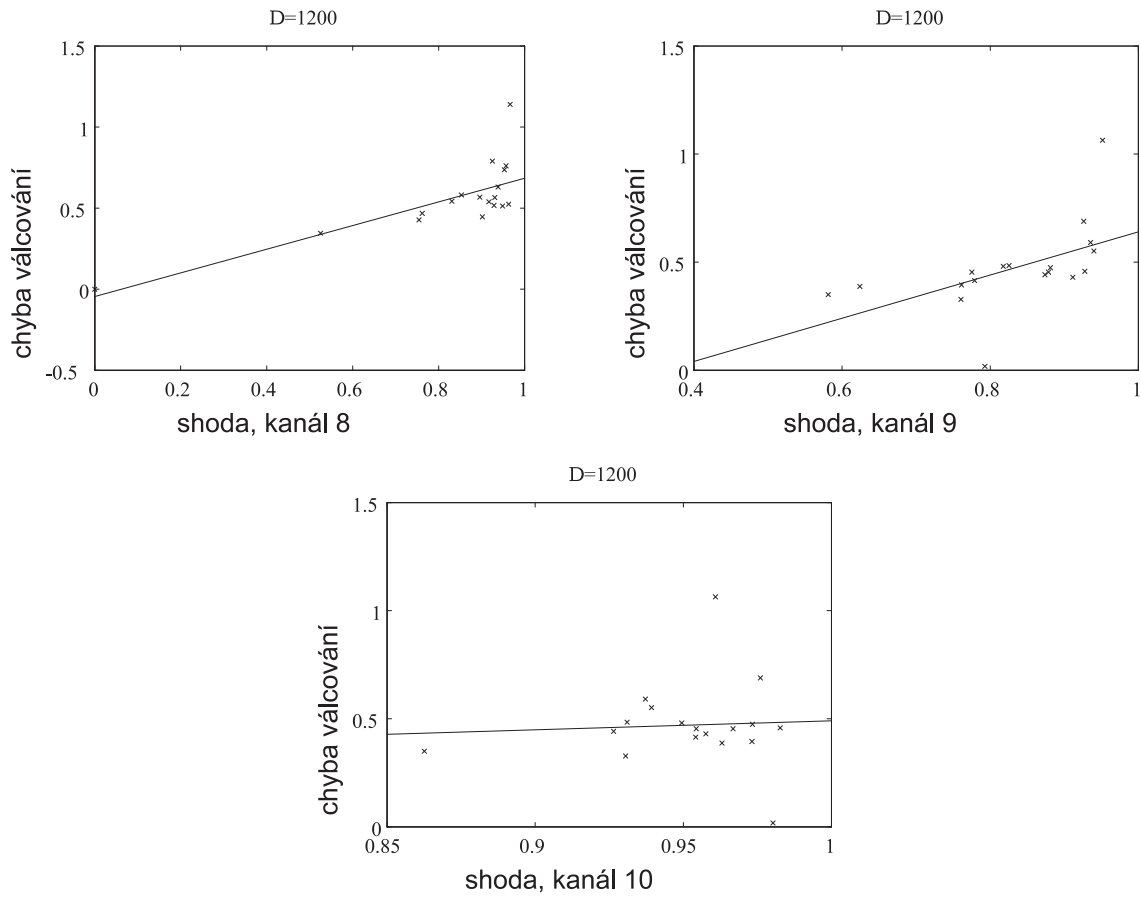


Obrázek 1: Závislost shody porad s chováním operátora a kvality řízení

Bohužel, takto získaná závislost vykazovala opačný charakter, než bychom chtěli.

Protože výsledek není příliš ovlivněn volbou  $\Delta$ , bylo pro další analýzy uvažováno  $\Delta = 1200$ .

Pokusili jsme se zjistit, jestli závislost shody a kvality nebude různá, když do shody budeme uvažovat pouze jeden ze tří kanálů. Z výsledků na obrázku 2 je patrné, že výsledná závislost je nejvíce ovlivňována kanálem 9, nicméně kvalitativně jsou výsledky obdobné.

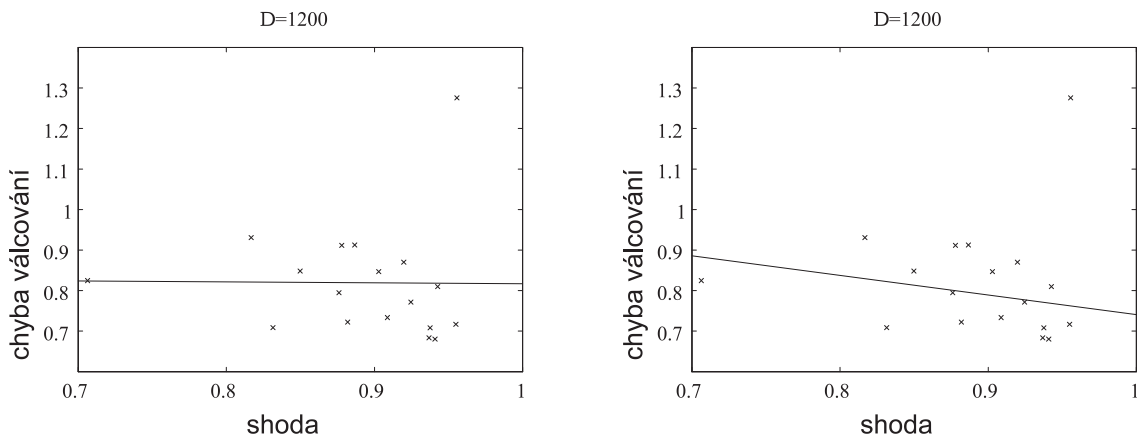


Obrázek 2: Závislost shody porad s chováním operátora a kvality řízení pro jednotlivé kanály

Nepříznivé výsledky předchozí analýzy nás motivovaly k dalšímu zkoumání kritéria kvality řízení. Je zřejmé, že kvalita musí záviset na odchylkách výstupu od žádané hodnoty. Jako míru kvality vstupního plechu jsme původně brali odchylky od nominální hodnoty. K tomu ovšem není žádný důvod. Kvalita vstupu by měla záviset především na tom, jak moc se vstup mění. Předchozí kritérium ale uvažovalo tento požadavek jen částečně. Místo odchylek od nominální hodnoty, by se správně měly používat odchylky od střední hodnoty. K výpočtu těchto odchylek lze snadno použít předem napočtené odchylky od nominální hodnoty, protože platí:  $y_k + Y_{nom} - \frac{\sum_{j=1}^n (y_j + Y_{nom})}{n} = y_k - \frac{\sum_{j=1}^n y_j}{n}$ . Vylepšené kritérium bude:

$$Err = \sum_{k=1}^K \frac{\sum_{t=(k-1)\Delta+1}^{k\Delta} y_t^2}{\sum_{t=(k-1)\Delta+1}^{k\Delta} (u_t - \hat{u}_k)^2}, \quad \text{kde } \hat{u}_k = \frac{\sum_{\tau=(k-1)\Delta+1}^{k\Delta} u_\tau}{\Delta}$$

Na obrázku 3 je zobrazen výsledný tvar závislosti při použití nového kritéria. Protože data obsahují jednu významně vychýlenou hodnotu (outlier), měli bychom správně regresní přímkou spočítat robustní metodou. Pro jednoduchost jsme místo robustní metody outlier odstranili. Z obrázku je nyní jasně patrné, že čím lepší bylo chování operátora, tím větší byla shoda jeho akcí s radami navrženými poradním systémem.



Obrázek 3: Závislost shody porad s chováním operátora a kvality řízení při vylepšeném kritériu kvality

## 8 Závěr

Provedená studie aplikovala metodiku víceúčastnického Bayesovského rozhodování na problém poradního systému pro operátora válcovací tratě za studena. Jako kvalita porad byla stanovena jejich shoda s akcí, kterou operátor skutečně provedl. Vzhledem k tomuto kritériu byla aplikace výšeúčastnického rozhodování velmi úspěšná. Dodatečně byla zkoumána závislost shody porad s operátorem s přihlédnutím na kvalitu produktu ovlivněnou operátorovým nastavením. Při nevhodně zvoleném kritériu vypovídá tato závislost proti vylepšení poradního systému. Po důkladnější analýze a lepší volbě kritéria kvality však závislost jasně ilustruje zkoumané vylepšení poradního systému.

## Reference

- [1] A. Quinn, P. Ettlér, L. Jirsa, I. Nagy, and P. Nedoma. Probabilistic advisory systems for data-intensive applications. *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing*, 17(2):133–148, 2003.
- [2] M. Kárný, J. Böhm, T.V. Guy, L. Jirsa, I. Nagy, P. Nedoma, and L. Tesař. *Optimized Bayesian Dynamic Advising: Theory and Algorithms*. Springer, London, 2005. 552 pp.
- [3] P. Ettlér, J. Štika, and M. Kárný. Comparison of settings for industrial decision support. In *DAR internal report*, Plzeň/Praha, 2006.

- [4] M. Kárný and T.V. Guy. On dynamic decision-making scenarios with multiple participants. In J. Andryšek, M. Kárný, and J. Kracík, editors, *Multiple Participant Decision Making*, pages 17–28, Adelaide, May 2004. Advanced Knowledge International.
- [5] Guy T. Kárný M., Kracík J. Cooperative decision making without facilitator. In Fradkov A.L. Andrievsky B.R., editor, *IFAC Workshop "Adaptation and Learning in Control and Signal Processing" /9./*. IFAC, 2007.