

Slovenská technická univerzita v Bratislave

FAKULTA CHEMICKEJ A POTRAVINÁRSKEJ TECHNOLOGIE

ÚSTAV INFORMATIZÁCIE, AUTOMATIZÁCIE A MATEMATIKY

ODDELENIE INFORMATIZÁCIE A RIADENIA PROCESOV



Diplomová práca

Identifikačný toolbox pre MATLAB/SIMULINK

Vypracoval :

Bc. Peter Petruš

Vedúci diplomovej práce :

Ing. Ľuboš Čírka, PhD

BRATISLAVA

2006

Podakovanie

Touto cestou si dovoľujem poďakovať vedúcemu diplomovej práce Ing. Ľubošovi Čirkovi, PhD za cenné rady a pripomienky k tejto práci. Ďalej by som chcel poďakovať svojej rodine za morálnu a hmotnú podporu, bez ktorej by som to nedokázal.

Abstrakt

Diplomová práca sa zaoberá tvorbou identifikačného toolboxu pre MATLAB/SIMULINK, ktorý slúži na identifikáciu spojitých a diskretných dynamických systémov. Knižnica je vytvorená v prostredí MATLAB/SIMULINK a má tvar toolboxu. Toolbox má názov IDTOOL (verzia 4), ktorý obsahuje simulinkové bloky slúžiace na zloženie blokových schém identifikácie. IDTOOL obsahuje bloky LDDIF, Continuous-Filter, Discrete-Filter, Continuous identification (SISO, MIMO) a Discrete identification (SISO, MIMO) a blok Demos. Pomocou jednotlivých blokov je možné zložiť blokovú schému identifikácie pre ľubovoľný systém. IDTOOL je možné použiť v kombinácii s riadiacim systémom dSPACE na identifikáciu reálnych systémov.

Abstract

Target of a diploma work was creation new version of a identification toolbox IDTOOL for MATLAB/SIMULINK. Toolbox IDTOOL serves to identification continuous and discrete dynamic systems. IDTOOL (version 4) contains the simulink blocks, which serve on the composition of the block scheme identification. Toolbox IDTOOL contains blocks LDDIF, Continuous-Filter, Discrete-Filter, Continuous identification (SISO, MIMO), Discrete identification (SISO, MIMO) and block Demos. The Toolbox is based on the recursive method smallest square (RMNŠ) with using the exponencial forgeting and Bittanti's correction. IDTOOL is possible using in combination with control system dSPACE on the identification real systems.

OBSAH

Abstrakt

1 Úvod	9
1.1 Teoretický úvod	9
2 Problematika identifikácie	11
2.1 Prehľad existujúcich toolboxov	12
2.2 Problematika LDDIF	17
2.2.1 Rekurzívna metóda najmenších štvorcov	17
2.2.2 Modifikácie RMNŠ	19
2.3 Filtrácia údajov a návrh filtrov	20
2.3.1 Návrh spojitého (diskrétneho) filtra	21
3 Tvorba toolboxu IDTOOL verzia 4	22
3.1 Inštalácia a odinštalovanie toolboxu IDTOOL	22
3.2 Úprava funkcií lddif.c a lddif_c.c	26
3.3 Tvorba toolboxu a opis blokov	26
4 Praktická časť	40
4.1 Výsledky simulácií v MATLABe	40
5 Záver	50
6 Literatúra	51
7 Príloha	52

Zoznam obrázkov

1.1.1	Vstupné a výstupné veličiny objektu.....	10
2.1.1	Základné dialógové okno toolboxu IDENT	14
2.3.1	Zobrazenie zapojenia filtrov do systému	20
3.1.1	Obsah toolboxu IDTOOL	22
3.1.2	Dialógové okno Set Path pre zadanie vyhľadávacej cesty	23
3.1.3	Dialógové okno po nastavení vyhľadávacej cesty	24
3.1.4	Dialógové okno pre odstránenie toolboxu	25
3.3.1	Dialógové okno bloku LDDIF	28
3.3.2	Dialógové okno bloku Continuous filter	29
3.3.3	Dialógové okno bloku Discrete filter	31
3.3.4	Dialógové okno bloku Continuous identification (SISO)	33
3.3.5	Dialógové okno bloku Discrete identification (SISO)	34
3.3.6	Dialógové okno bloku Continuous identification (MIMO)	36
3.3.7	Dialógové okno bloku Discrete identification (MIMO)	37
3.3.8	Kontextové menu bloku Demos.....	38
4.1.1, 4.1.2	Schémy identifikácií spojitého systému druhého rádu	40
4.1.3	Identifikácia parametrov čitateľa prenosu spojitého systému	42
4.1.4	Identifikácia parametrov menovateľa prenosu spojitého systému ..	42
4.1.5	Predikčná chyba v priebehu identifikácie.....	43
4.1.6, 4.1.7	Schémy identifikácií diskrétného systému tretieho rádu	44
4.1.8	Identifikácia parametrov čitateľa prenosu diskrétného systému	45
4.1.9	Identifikácia parametrov menovateľa diskrétného systému	45
4.1.10	Predikčná chyba v priebehu identifikácie.....	46
4.1.11, 4.1.12	Schémy identifikácií spojitého MIMO systému	47
4.1.13	Identifikácia parametrov čitateľa prenosu MIMO systému	48
4.1.14	Identifikácia parametrov menovateľa prenosu MIMO systému	49
4.1.15	Predikčná chyba v priebehu identifikácie.....	49

Zoznam použitých skratiek a symbolov

SISO (single input / output)	jeden vstup / výstup
MIMO (multiple input / output)	viac vstupov / výstupov
RMNŠ	rekurzívna metóda najmenších štvorcov
IDTOOL	názov identifikačného toolboxu

1 Úvod

Pri riadení procesov je dôležité vopred poznať základné informácie o riadenom objekte. Tieto informácie nám poskytuje identifikácia systémov. Pri identifikácii systémov sa využíva iba vstup a výstup zo systému. V nasledujúcej stati sú opísané jednotlivé metódy identifikácie systémov.

Jednou z možností identifikácie neznámeho systému je použitie identifikačného toolboxu IDTOOL (verzia 4). Verzia 4 toolboxu IDTOOL je vytvorená pomocou funkcií, ktoré boli následne skompilované na mex – súbory. Z tohto dôvodu je možné toolbox použiť v kombinácii s riadiacim systémom dSPACE na identifikáciu reálnych systémov.

1.1 Teoretický úvod

Pre pochopenie princípu identifikácie je dôležité definovať základné pojmy týkajúce sa systémov. Základnými pojmami pri identifikácii systémov sú reálny objekt a jeho model. Reálny objekt charakterizuje reálny proces (originál) a model tohoto procesu je umelý model navrhnutý na základe vlastností reálneho objektu. Obidva objekty tvoria systémy (reálny, abstraktný systém). Z hľadiska experimentálnej identifikácie delíme modely podľa ich vlastností do viacerých skupín.

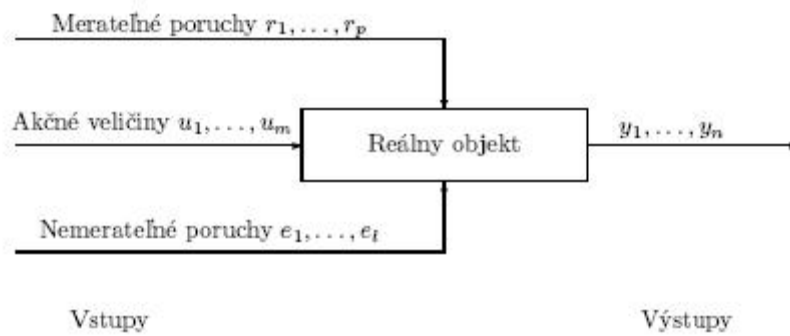
Delenie modelov:

- statické, dynamické
- spojité, diskrétne
- deterministické, stochastické
- lineárne, nelineárne
- jednorozmerové, viacrozmerové

Z hľadiska identifikácie sú dôležité vlastnosti modelov, ktoré charakterizujú relácie medzi vstupmi a výstupmi objektov. Vstupné veličiny do systému delíme podľa toho či sa dajú ovládať alebo ich hodnoty nemôžeme meniť.

Delenie vstupných veličín (obr. 1.1.1):

- akčné (dajú sa meniť, ovládať)
- poruchy (nedajú sa ovládať)
 - merateľné
 - nemerateľné



Obr. 1.1.1 Vstupné a výstupné veličiny objektu

2 Problematika identifikácie

Identifikácia podľa L. A. Zadeha je určenie systému z danej triedy systémov, ku ktorému je testovaný systém na základe vstupov a výstupov ekvivalentný. Systém môžeme identifikovať off-line, ale aj on-line metódami. Off-line metódy využívajú na identifikáciu namerané údaje (vstup, výstup) zo systému. Pomocou nameraných údajov sa robí identifikácia systému.

Medzi off-line metódy patria napr.:

- identifikácia z prechodovej charakteristiky (Streicova, Broidova, Hudzovočova, Thal-Larsenova, Šalamonova metóda)
- frekvenčná analýza

Princíp off-line metód je založený na postupnosti nasledujúcich krokov:

- namerať vstupný a výstupný signál korešpondujúci zo systémom
- zvoliť metódu identifikácie
- zvoliť si rád identifikovaného systému
- výpočet parametrov procesu (zosilnenie, časové konštanty, dopravné oneskorenie)

K on-line metódam patria metódy REFIL, LDFIL, z ktorých sa úpravami získala metóda LDDIF. Všeobecne sú tieto metódy založené na modifikovanej metóde najmenších štvorcov (RMNŠ). Metóda LDDIF je založená na priamej identifikácii systému v priebehu riadenia. Modifikácia RMNŠ je založená na použití korekcií exponenciálneho zabúdania a Bitantiho korekcie. Rozdiel v metódach je vo výpočte kovariančnej matice. Pri MNŠ je nevyhnutnou operáciou inverzia pozitívne definitnej matice $Z^T Z$. Táto inverzia sa neodstráni ani v prípade priebežných algoritmov a rieši sa pomocou lemy o inverzii matice.

Lemma o inverzii matice – **Wood-buryho identita** :

Nech platí $M = A + BC^{-1}D$. Za predpokladu, že matice A, C sú regulárne platí :

$$M^{-1} = A^{-1} - A^{-1}B(DA^{-1}B + C)^{-1}DA^{-1} \quad (2.1)$$

Pri numerických výpočtoch sa môže často stať, že po určitom čase sa vplyvom nepresností nedodrží pozitívna definitnosť kovariančnej matice a identifikačný algoritmus diverguje. Preto sa v identifikačných algoritmoch faktorizuje kovariančná matica ako produkt dvoch alebo troch matíc. Pri metóde REFIL sa faktorizácia kovariančnej matice uskutočňuje dekompozíciou v tvare:

$$P = QQ^T, \text{ alebo } P = Q^T Q \quad (2.2)$$

Ak matica Q je dolná (horná) trojuholníková matica, potom sa jedná o Choleskyho dekompozíciu a Q sa nazýva tiež odmocninou matice P . V tomto prípade je možné získať maticu Q z nasledujúcich vzťahov:

$$q_{ii} = \sqrt{p_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} q_{ki}^2}, \quad q_{ij} = \frac{1}{q_{ii}}(p_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} q_{ki}q_{kj}) \quad (2.3)$$

Ďalšie vzorce na výpočet nového odhadu parametrov sú publikované v [1].

Druhý spôsob úpravy je založený na UD dekompozícií matice v tvare:

$$P = U^T D U \quad (2.4)$$

kde U je horná trojuholníková matica s jednotkami na hlavnej diagonále a D je diagonálna matica. Pre ich výpočet využívame vzťahy:

$$d_i = p_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} d_k u_{ki}^2, \quad u_{ij} = \frac{1}{d_i}(p_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} d_k u_{ki}u_{kj}) \quad (2.5)$$

2.1 Prehľad existujúcich toolboxov

Z dôvodu existencie rôznych metód identifikácie systémov existuje veľké množstvo navrhnutých identifikačných toolboxov. Do skupiny toolboxov slúžiacich na identifikáciu systémov on-line metódami patria toolboxy: IDENT, NNSYSID, FDIDENT, HIT, CUEDSID, SLICOT, Robust control toolbox 3. V tejto kapitole sú

uvedené niektoré už existujúce identifikačné toolboxy s krátkym opisom vlastností a využitia toolboxov. Jednotlivé toolboxy využívajú rôzne metódy identifikácie systémov a to na základe zaradenia identifikovaných systémov (lineárne, nelineárne, statické, dynamické systémy) a použitej metódy identifikácie z (prechodovej, frekvenčnej charakteristiky).

IDENT toolbox [2]

Toolbox IDENT bol navrhnutý spoločnosťou Mathworks a jeho demo je voľne dostupné na stiahnutie zo stránok <http://www.mathworks.com>. Toolbox slúži na identifikáciu dynamických systémov na základe vstupno-výstupných signálov zo systému. Identifikačné techniky použité v toolboxe IDENT sú použiteľné pre aplikácie vibračných analýz, systémových analýz v časovej oblasti.

Proces odhadu modelu dynamického systému je založený na:

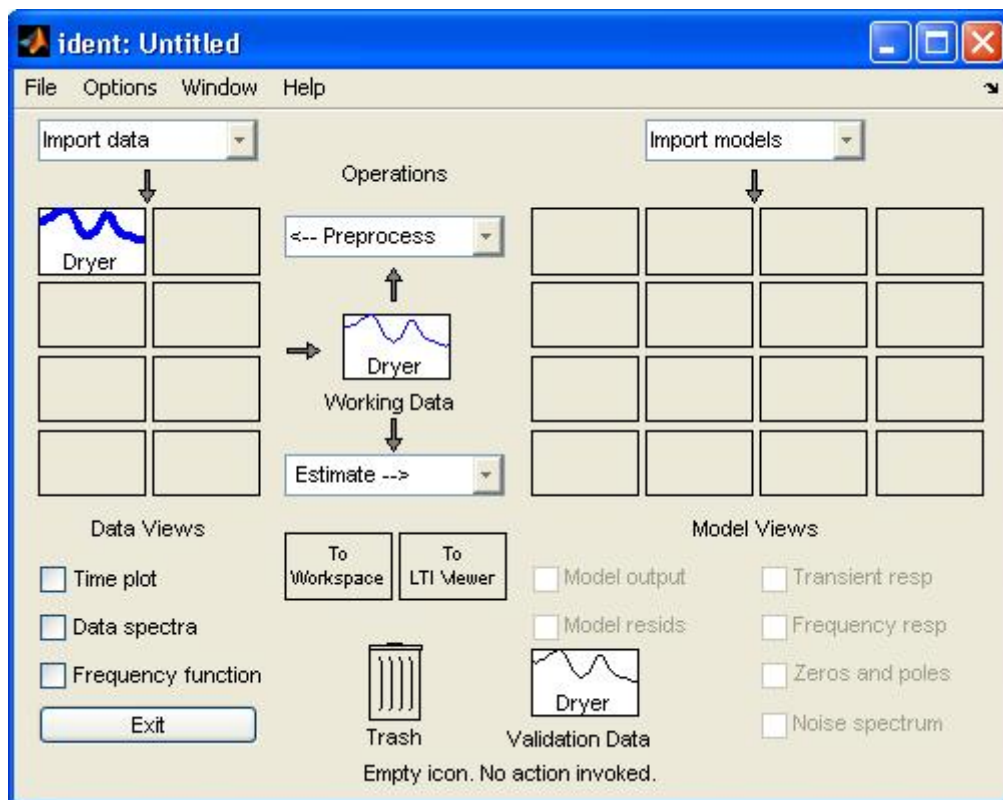
- meraní vstupno-výstupných dát
- návrhu štruktúry modelu
- voľbe kritérií identifikácie (voľba identifikačnej metódy)

Toolbox IDENT obsahuje štandardnú identifikačnú metódu (model) pomocou ktorej pri overovaní toolboxu vychádzali dobré výsledky.

Základné okno toolboxu IDENT (obr. 1.2.1) obsahuje:

- data - import dát zo súboru
- model - import modelu
- preprocess - výber metódy spracovania údajov
- estimate - výber a tvorba modelov

Toolbox obsahuje funkcie na ukladanie údajov do Workspace, alebo do LTI viewer.



Obr. 2.1.1 Základné dialógové okno toolboxu IDENT

NNSYSID toolbox [3]

NNSYSID toolbox neurónových sietí slúži na identifikáciu nelineárnych dynamických systémov pomocou neurónových sietí. Toolbox je zložený z veľkého množstva M a MEX súborov pre tréning perceptrónov neurónových sietí programovaných v MATLABe.

NNSYSID obsahuje:

- rýchle, robustné a ľahko použiteľné tréningové algoritmy
- množstvo rôznych modelov pre identifikáciu dynamických systémov
- skripty pre overenie modelu trénovaných sietí
- demo programy identifikácie

FDIDENT toolbox [4]

FDIDENT - Frequency Identification Toolbox v3.3 slúži na identifikáciu lineárnych dynamických spojitých a diskretných (SISO) systémov pomocou časových

alebo frekvenčných odoziev. Toolbox je navrhnutý aj pre identifikáciu systémov s malým dopravným oneskorením.

FDIDENT umožňuje:

- návrh optimalizovaných periodických excitovaných signálov
- identifikáciu systémov s dopravným oneskorením
- výpočet intervalov spoľahlivosti z amplitúdy/fázy
- overovanie modelov a výpočet z reziduí

Toolbox HIT [5]

HIT - Hybrid Identification toolbox je voľne dostupný toolbox pre MATLAB, ktorý slúži na identifikáciu (PWARX) modelov s využitím regresie. HIT toolbox využíva zoskupenie algoritmov, ktoré sú zdokumentované v súbore Bibliography.txt nachádzajúcom sa v koreňovom adresári toolboxu HIT.

Toolbox HIT obsahuje:

- Vzorové rozpoznávacie algoritmy (SVC, MRLP, PSVC)
- Spojité a diskkrétne PWA/PWARX modely
- Post-processing
- Združovacie algoritmy

CUEDSID toolbox [6]

Využíva sa na "Subspace" identifikáciu lineárnych a bilineárnych dynamických systémov a pre prediction-error identifikáciu systémov použitím symetrickej parametrizácie.

CUEDSID toolbox obsahuje funkcie:

- subid3b - "Subspace" identifikácia lineárnych systémov
- balpem - Symetrická parametrizácia systémov
- bilinid - "Subspace" identifikácia bilineárnych systémov
- množstvo pomocných funkcií

SLICOT toolbox [7]

SLICOT identifikačný toolbox obsahuje nástroje pre identifikáciu lineárnych časovo invariantných, diskretných mnohorozmerných systémov. Mnohorozmerný prístup k identifikácii **MOESP** – “Multivariable Output-Error state SPace identifikácia”, **N4SID** – numerický algoritmus pre mnohorozmerný stavový opis systémov. Ich kombináciou získame blok identifikácie pre lineárne systémy.

SLICOT toolbox umožňuje:

- identifikovať z diskretného lineárneho stavového opisu
- identifikovať z výstupov a stavov systému
- identifikovať Wienerove systémy
- odhadovať počiatočný stav
- odhadovať veľkosť Kalmanovej matice
- transformáciu state-space opisu na vstupno výstupný opis

Hlavné výhody toolboxu:

- výpočtová spoľahlivosť
- vysoká numerická efektivita
- ľahko prispôsobivý
- schopnosť spracovávať rôzne dátové štruktúry

Robust control toolbox 3 [8]

Robust control toolbox poskytuje systematický prístup k projektovaniu robustných, viacrozmerných riadiacich systémov. Pomocou toolboxu je možné identifikovať nielen nominálne systémy, ale aj výpočet neurčitosti a premenlivosti systémov.

Neurčitosť systému môže vyplývať z:

- parametre modelu neboli vhodne zvolené
- nepresne definovaná dynamika procesu
- zmeny v priebehu procesu
- nelineárne chovanie systému v danej oblasti

Robust control toolbox 3 obsahuje:

- μ analýza a LMI-base techniky pre analýzu MIMO systémov
- algoritmy pre frekvency-domain analýzu MIMO systémov v otvorenej väzbe
- H a μ -synthesis pre robustné riadenie
- Približné algoritmy pre modely
- General-purpose LMI solver

2.2 Problematika LDDIF

IDTOOL je identifikačný toolbox založený na modifikovanej rekurzívnej metóde najmenších štvorcov (RMNŠ) s využitím korekcií exponenciálneho zabúdania a Bitantiho úpravy. Algoritmus identifikácie je napísaný v programovacom jazyku C. Na základe tejto skutočnosti je možné používať IDTOOL aj v spojení s riadiacim systémom dSPACE na priebežnú identifikáciu reálnych systémov.

2.2.1 Rekurzívna metóda najmenších štvorcov RMNŠ

Rekurzívna metóda najmenších štvorcov je založená na princípe výpočtu odhadov parametrov rekurzívne v čase. Z toho vyplýva, že ak poznáme odhad parametrov v čase $\hat{\theta}(t-1)$ tak potom odhad parametrov v čase $\hat{\theta}(t)$ získame jednoduchou modifikáciou $\hat{\theta}(t-1)$. Pre odvodenie rekurzívnej metódy najmenších štvorcov (RMNŠ) predpokladajme, že poznáme odhad parametrov v čase $\hat{\theta}(t)$ a hodnotu kovariančnej matice v čase $P(t)$. Cieľom odvodenia je získať odhad parametrov v čase $\hat{\theta}(t+1)$ a kovariančnú maticu $P(t+1)$. Ak máme meranie v čase $(t+1)$ potom:

$$Y(t+1) = \begin{pmatrix} Y(t) \\ y(t+1) \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

$$Z(t+1) = \begin{pmatrix} Z(t) \\ z^T(t+1) \end{pmatrix}, Z^T(t+1) = \begin{pmatrix} Z^T(t) & z(t+1) \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

Pre kovariančnú maticu $P(t+1)$ platí:

$$P(t+1) = (Z^T(t+1)Z(t+1))^{-1} = [P^{-1}(t) + z(t+1)z^T(t+1)]^{-1} \quad (2.8)$$

Použitím lemmy o inverzii matice dostaneme:

$$P(t+1) = P(t) - P(t)z(t+1)[z^T(t+1)P(t)z(t+1) + 1]^{-1}z^T(t+1)P(t) \quad (2.9)$$

kde $\gamma(t+1) = [z^T(t+1)P(t)z(t+1) + 1]^{-1}$ z čoho vyplýva vzťah:

$$\gamma(t+1) = 1 - \gamma(t+1)z^T(t+1)P(t)z(t+1) \quad (2.10)$$

Pre aktualizáciu kovariančnej matice $P(t+1)$ sa používa vzťah:

$$P(t+1) = P(t) - \gamma(t+1)P(t)z(t+1)z^T(t+1)P(t) \quad (2.11)$$

Odvodenie pre nový odhad parametrov $\hat{\theta}(t+1)$ je analogické ako pre kovariančnú maticu $P(t+1)$. Rovnica pre odhad parametrov v čase $\hat{\theta}(t+1)$ má tvar:

$$\hat{\theta}(t+1) = \hat{\theta}(t) + \gamma(t+1)P(t)z(t+1)[y(t+1) - z^T(t+1)\hat{\theta}(t)] \quad (2.12)$$

Formálne môžeme zapísať rekurzívnu metódu najmenších štvorcov nasledovne:

$$\begin{aligned} \varepsilon(t+1) &= y(t+1) - z^T(t+1)\hat{\theta}(t) \\ \gamma(t+1) &= [1 + z^T(t+1)P(t)z(t+1)]^{-1} \\ L(t+1) &= \gamma(t+1)P(t)z(t+1) \\ P(t+1) &= \gamma(t+1)P(t)z(t+1)z^T(t+1)P(t) \\ \hat{\theta}(t+1) &= \hat{\theta}(t) + L(t+1)\varepsilon(t+1) \end{aligned} \quad (2.13)$$

Pre správnosť pracovania daného algoritmu je dôležité zadať počiatočné podmienky pre odhad parametrov $\hat{\theta}(t)$ a $P(0)$, kde $P(0)$ charakterizuje neurčitost' odhadu .

2.2.2 Modifikácie RMNŠ

Rekurzívnu metódu najmenších štvorcov (RMNŠ) je možné úpravou jej algoritmu ľahko modifikovať. IDTOOL je založený na modifikovanej RMNŠ, kde k algoritmu bolo pridané exponenciálne zabúdanie (L) a Bitantiho korekcia (delta).

Aktualizácia kovariančnej matice je založená na rovnici:

$$P^{-1}(t+1) = P^{-1}(t) + z(t+1)z^T(t+1) \quad (2.14)$$

úpravou rovnice sa získa tvar:

$$P^{-1}(t+1) = \lambda_1(t)P^{-1}(t) + \lambda_2 z(t+1)z^T(t+1) \quad (2.15)$$

kde λ_1 zväčšuje kovariančnú maticu $P(t+1)$ a λ_2 ju znižuje. Rôzne hodnoty λ_1 , λ_2 vedú k rôznym identifikačným algoritmom.

- konštantné exponenciálne zabúdanie (L): hodnota $\lambda_1 < 1$ a $\lambda_2 = 1$. Typické hodnoty pre λ_1 sú medzi $\lambda_1 = 0,95 - 0,99$.

Tomuto nastaveniu prislúcha kritérium:

$$J(t) = \sum_{i=1}^t \gamma_1^{t-i} \varepsilon_i^2 \quad (2.16)$$

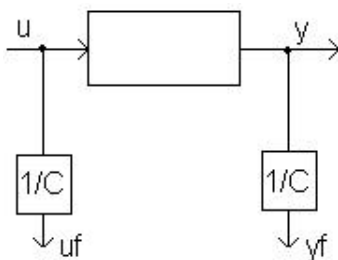
Význam λ_1 spočíva v tom, že počas výpočtu nových odhadov parametrov sa zabúdajú staršie údaje a najväčšia váha je na poslednom meraní.

- Bitantiho korekcia (delta)

Význam Bitantiho korekcie spočíva v tom, že pri opakovanej identifikácii parametrov je nutné hodnoty identifikovaných parametrov mierne rozladiť, aby opätovne došlo k správne identifikovaniu parametrov. Typická hodnota pre delta je $\delta = 0,001$.

2.3 Filtrácia údajov a návrh filtrov

Pre správnu identifikáciu parametrov je potrebné definovať štruktúru identifikovaného systému. Identifikovaný systém sme opísali prenosom v tvare $G(s) = \frac{B(s)}{A(s)}$, ktorý môžeme rozdeliť na čitateľa a menovateľa. Metóda LDDIF pracuje s filtrovanými údajmi, ktoré sa vytvoria pomocou filtrov (obr. 1.5.1) pre vstup a výstup. Vstupný vektor (z) do identifikácie obsahuje parametre $(-y, -y', \dots, -y^{(n-1)}, u, u', \dots, u^m)$. Medzi danými parametrami sa vyskytujú aj derivácie, ktoré nedokážeme vypočítať z originálneho vstupného (výstupného) signálu a preto sa musia používať filtre signálov. Vo všeobecnosti sa filtre používajú v tvare $\frac{1}{C(s)}$ a výstupom z filtrov sú filtrované signály vstupu a výstupu.



Obr. 2.3.1 Zobrazenie zapojenia filtrov do systému

Navrhnuté filtre musia spĺňať nasledujúce požiadavky:

- polynóm $C(s)$ musí byť stabilný
- stupeň polynómu $C(s)$ musí byť väčší alebo rovný stupňu polynómu $A(s)$.
- časové konštanty polynómu $C(s)$ musia byť menšie ako polynómu $A(s)$.

2.3.1 Návrh spojitého (diskrétného) filtra

Pri návrhu filtrov je potrebné zdefinovať štruktúru systému.

Majme systém s prenosom
$$G(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{b_0 + b_1s + \dots + b_ms^m}{s^n + a_{n-1}s^{n-1} + \dots + a_0} = \frac{Y(s)}{U(s)}$$

po úprave získame :

$$A(s)Y(s) = B(s)U(s) \cdot \frac{1}{C(s)} \Rightarrow A(s)\frac{Y(s)}{C(s)} = B(s)\frac{U(s)}{C(s)} \Rightarrow AY_f = BU_f \quad (2.17)$$

$$u_f = \frac{1}{C}U, \quad y_f = \frac{1}{C}Y \quad (2.18)$$

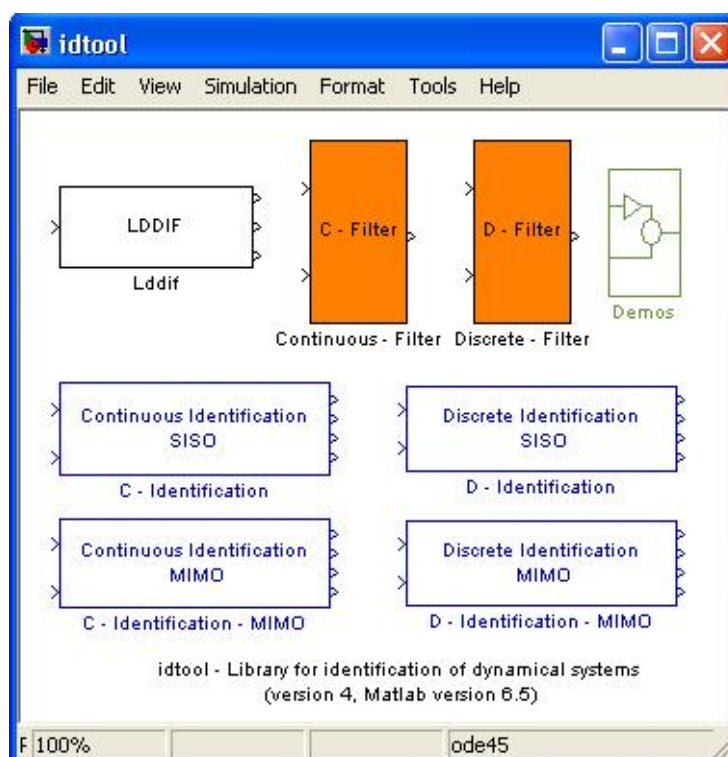
Pri návrhu diskretných filtrov sa postupuje podobne ako pri spojitých filtroch.

Rozdiel je v definovaní štruktúry systému a to vo forme diskretného prenosu.

3 Tvorba toolboxu IDTOOL v prostredí MATLABU

3.1 Inštalácia a prvé spustenie toolboxu IDTOOL

IDTOOL je identifikačný toolbox navrhnutý na identifikáciu systémov v prostredí MATLAB/SIMULINK. Toolbox je navrhnutý pre verzie MATLABu 5.3, 6.5 a 7.0.1. Bloky toolboxu sú zobrazené na obr. 3.1.1.



Obr. 3.1.1 Obsah toolboxu IDTOOL

V nasledujúcej časti je opísaná inštalácia, spustenie a odinštalovanie toolboxu.

Inštalácia toolboxu IDTOOL

Toolbox IDTOOL je adresár súborov, ktorý je priložený na inštalačnom CD k diplomovej práci. CD obsahuje tri adresáre, ktorých názvy charakterizujú verzie MATLABu, pre ktoré bol toolbox navrhnutý. V daných adresároch sa nachádza adresár **idtool**, ktorý obsahuje všetky súbory toolboxu.

Inštalácia toolboxu IDTOOL vo verzií MATLABu 6.5 pozostáva:

- skopírovanie adresára idtool z adresára MATLAB_6.5 do

C:\MATLABR6p5\toolbox

- nastavenie vyhľadávacej cesty

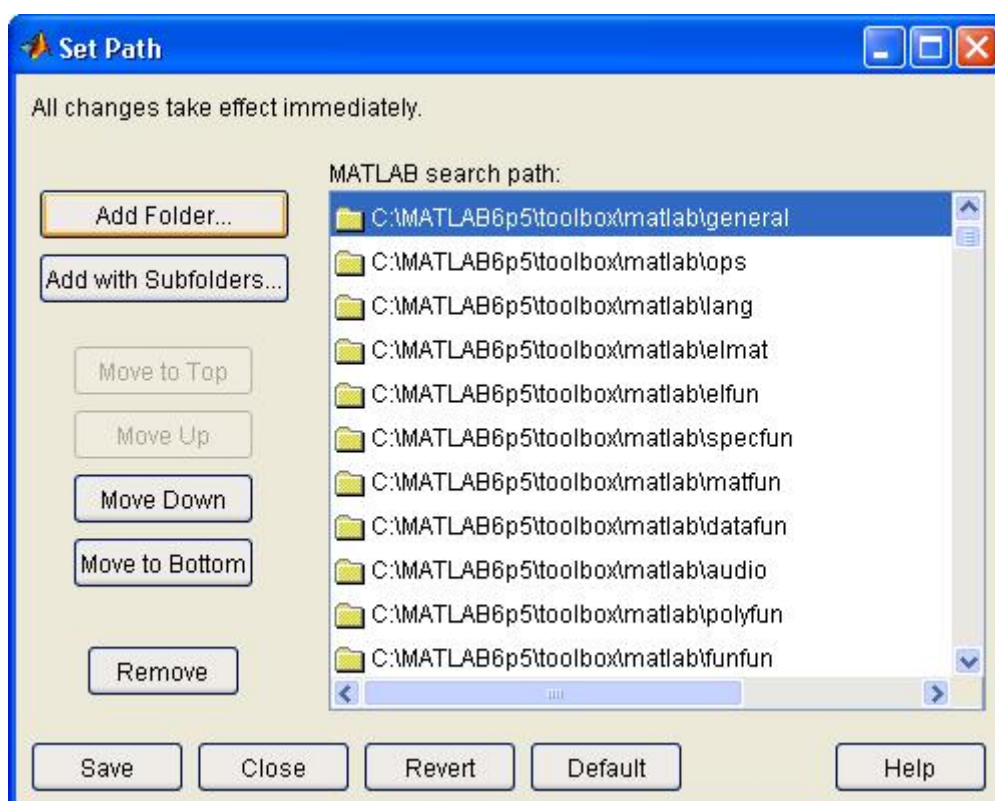
Nastavenie vyhľadávacej cesty:

Cestu je možné nastaviť dvomi spôsobmi. Prvý spočíva v zadaní cesty v súbore pathdef.m, v ktorom je nutné zadať názvy všetkých adresárov v tvare:

C:\MATLABR6p5\toolbox\idtool

Druhý spôsob spočíva vo vybraní žiadanej cesty v ponuke MATLABU:

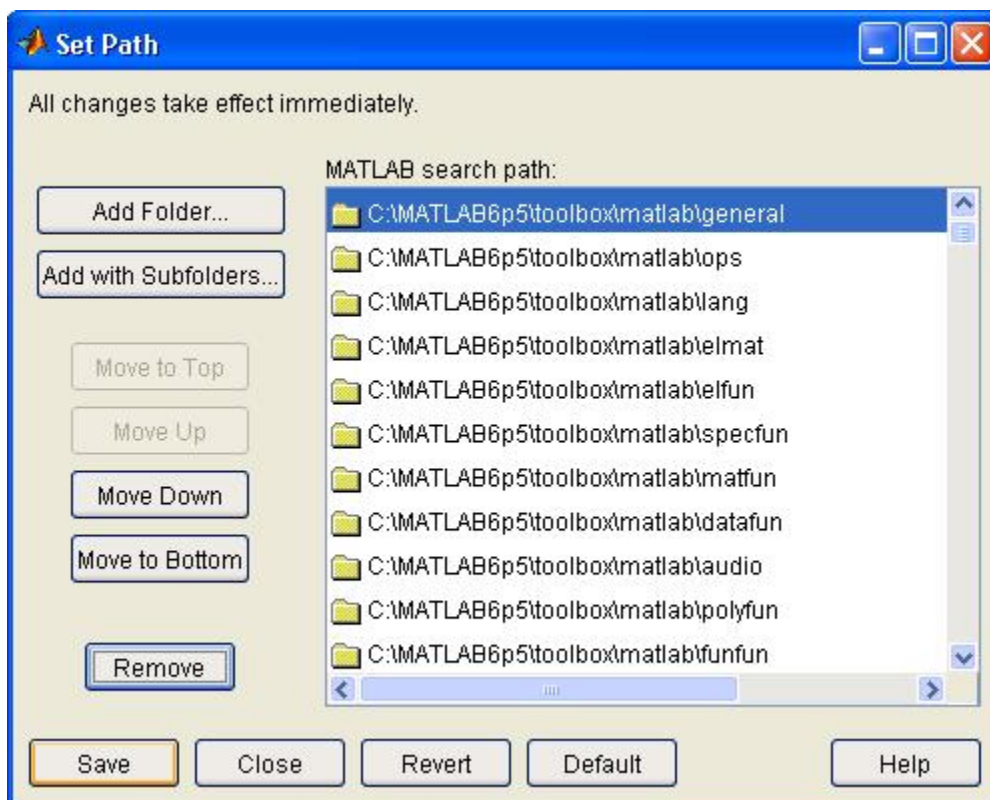
FILE → SetPath.. a otvorí sa okno Set Path (obr.3.1.2).



Obr. 3.1.2 Dialógové okno Set Path pre zadanie vyhľadávacej cesty

Klikneme na položku Add Folder... a vyhladáme cestu k toolboxu IDTOOL v adresári **C:\MATLABR6p5\toolbox**. Po správnom vykonaní predchádzajúcej akcie sa

v dialógovom okne zobrazí cesta k toolboxu. V nasledujúcom kroku uložíme nastavenia kliknutím na položku Save a môžeme začať pracovať s toolboxom.



Obr. 3.1.3 Dialógové okno po nastavení vyhľadávacej cesty

Otvorenie toolboxu IDTOOL

Toolbox môžeme otvoriť dvoma spôsobmi:

- príkazmi `simulink`, resp. `simulink3`
- napísaním názvu toolboxu v pracovnom okne MATLABu

>> idtool

Pomocou príkazov `simulink`, `simulink3`:

Napísaním príkazov **`simulink`**, **`simulink3`** do pracovného okna MATLABu sa nám zobrazí okno simulinkových knižníc. Otvoríme položku Blockset&Toolboxes, kde sa

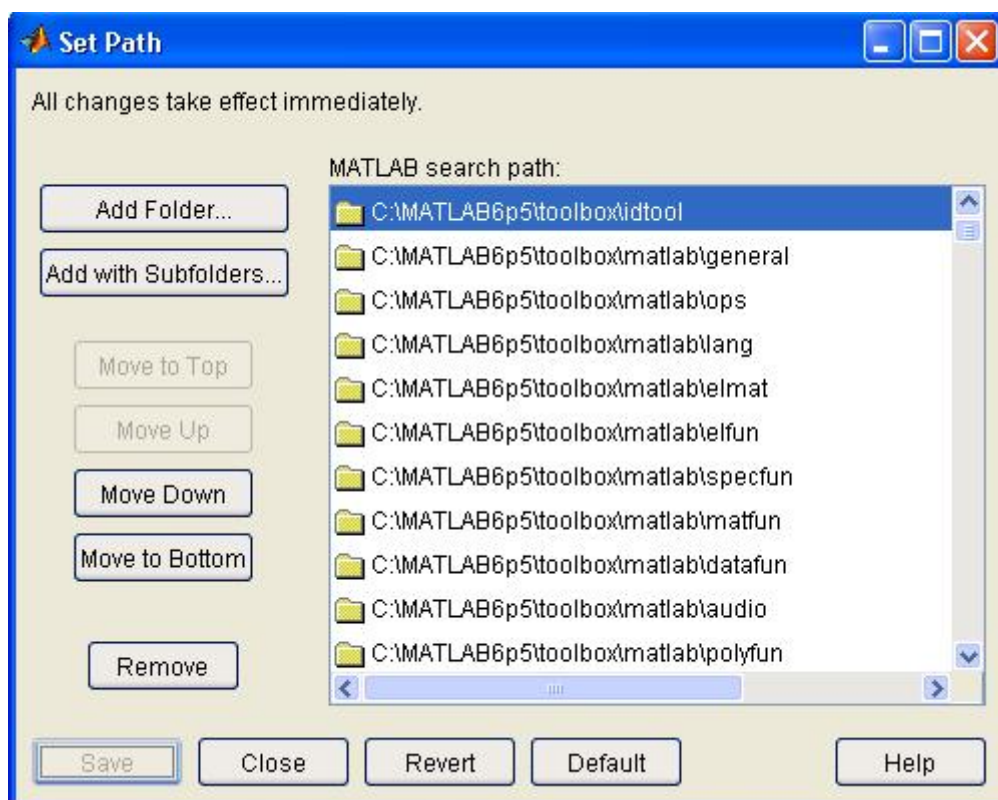
nám zobrazia jednotlivé bloky toolboxov medzi ktorými sa nachádza aj toolbox IDTOOL.

Odinštalovanie toolboxu IDTOOL

Odinštalovanie toolboxu je možné uskutočniť dvoma spôsobmi:

- zmazaním príslušnej cesty v súbore pathdef.m
- pomocou ponuky FILE → Set Path a ponuky REMOVE

Kliknutím na ponuku FILE → Set Path sa nám otvorí dialógové okno Set Path v ktorom je nutné vybrať príslušný toolbox, ktorý chceme zmazať a zvolíme ponuku REMOVE (obr 3.1.4).



Obr.3.1.4 Dialógové okno pre odstránenie toolboxu

Inštalácia, odinštalovanie toolboxu IDTOOL pre MATLAB 5.3, 7.0.1 je analogické ako pre verziu MATLAB 6.5.

3.2 Úprava skriptov **Iddif.c**, **Iddif_c.c** v programovacom jazyku C

Celý algoritmus na ktorom je založený toolbox IDTOOL je zapísaný v dvoch univerzálnych funkciách **Iddif.c** a **Iddif_c.c**. Vo funkcií **Iddif.c** je zapísaný modifikovaný algoritmus rekurzívnej metódy najmenších štvorcov s použitím korekcií exponenciálneho zabúdania a Bitantiho úpravy. Funkcia obsahuje 10 vstupných parametrov. Z dôvodu vopred neznámeho počtu parametrov a veľkosti kovariančnej matice bolo potrebné modifikovať definície premenných zo static na dynamickú alokáciu pamäte. Z dôvodu prenosu premenných medzi dvoma funkciami bolo potrebné definovať kovariančnú maticu ako globálnu premennú. Medzi vstupnými parametrami do funkcie sa nachádzajú aj parametre konštánt exponenciálneho zabúdania a Bitantiho korekcie. Prevzatie parametrov z dialógového okna MATLABu v jednotlivých blokoch toolboxu IDTOOL zabezpečuje skript **Iddif_c.c**, ktorý preberá z MATLABu sedem základných premenných. V skripte **Iddif_c.c** bolo potrebné vykonať zmeny v štruktúre programu a to z dôvodu zovšeobecnenia metódy identifikácie pre všetky rady systémov.

3.3 Tvorba toolboxu IDTOOL a opis blokov

Identifikačný toolbox s názvom IDTOOL obsahuje základné bloky pre identifikáciu spojitých a diskrétnych SISO, MIMO systémov. Toolbox obsahuje sedem základných blokov potrebných k identifikácii systémov a blok **demoss** pomocou ktorého je možné si pozrieť ukážku identifikácie spojitého (SISO), diskrétného (SISO) a MIMO systému. Každý z blokov v toolboxe obsahuje aj pomocný **help**, ktorý je možno vyvolať kliknutím na tlačidlo help v maske daného bloku. Help obsahuje stručný opis daného bloku, počet vstupných parametrov, použitá metóda a iné charakteristické črty bloku. Pri skladaní blokovej schémy identifikácie je možné jednotlivé bloky z toolboxu IDTOOL kombinovať a získať tak žiadanú identifikačnú schému.

IDTOOL obsahuje bloky:

- **LDDIF** - základný blok identifikácie (1 vstup, 3 výstupy)
- **Continuous filter** - definícia spojitého filtra (2 vstupy, 1 výstup)
- **Discrete filter** - definícia diskrétného filtra (2 vstupy, 1 výstup)
- **Continuous identification (SISO)** - identifikačný blok s C-filtrom pre SISO systémy
- **Discrete identification (SISO)** - identifikačný blok s D-filtrom pre SISO systémy
- **Continuous identification (MIMO)** - identifikačný blok s C-filtrom pre MIMO systémy
- **Discrete identification (MIMO)** - identifikačný blok s D-filtrom pre MIMO systémy
- **Demos**

Blok **LDDIF**



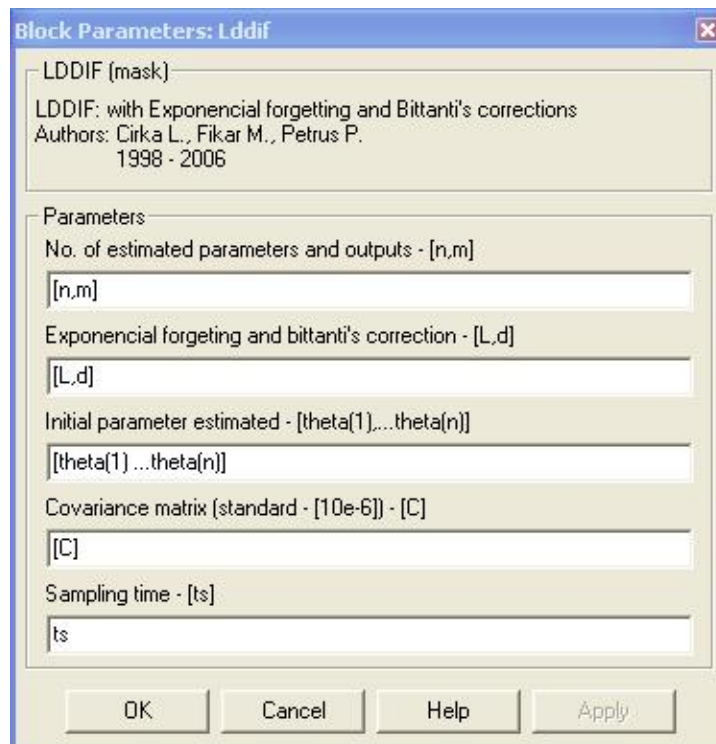
je základným blokom pre identifikáciu systémov a jeho dialógové okno je zobrazené na obr. 3.3.1. Funkcia **lddif_c.c** preberá z dialógového okna MATLABu sedem základných parametrov. Blok obsahuje jeden vstupný a tri výstupné porty.

Vstupný signál do bloku musí byť v tvare:

- $y(t), y'(t) \dots, u(t), u'(t), u''(t) \dots$

Výstup z bloku je rozdelený na tri časti:

1. **theta** – identifikované parametre
2. **Covariance matrix** – hodnota kovariančnej matice
3. **Prediction error** – hodnota predikčnej chyby



Obr. 3.3.1 Dialógové okno bloku LDDIF

Vstupné parametre bloku **LDDIF**:

- **n** – počet identifikovaných parametrov
- **m** – počet výstupov
- **L** – exponenciálne zabúdanie
- **d** – Bitantiho korekcia
- **theta** – začiatkové parametre
- **C** – kovariančná matica
- **ts** – perióda vzorkovania

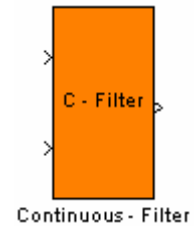
Pre správnu identifikáciu je potrebné zadať všetky parametre v bloku LDDIF. Veľkosť parametra **theta** musí zodpovedať súčtu identifikovaných parametrov v každom výstupe. Z toho vyplýva, že rozsah **theta** musí byť veľkosti $n \cdot m$.

Všeobecne je výpočet filtra založený na súčine prenosu systému v tvare $\frac{B(s)}{A(s)}$ a filtra

$\frac{1}{C(s)}$ za vzniku filtrovaných signálov vstupu a výstupu. Pre filter platí, že stupeň polynómu $C(s)$ musí byť väčší alebo rovný stupňu menovateľa prenosu systému.

Časové konštanty filtra musia byť menšie ako časové konštanty systému. V prípade toolboxu IDTOOL bola použitá metóda stavového opisu filtrov.

Blok **Continuous – Filter**



predstavuje spojitý filter pre vstupný a výstupný signál navrhnutý metódou stavového opisu. Výpočet stavového opisu spojitého filtra je realizovaný v maske bloku v položke Initialization commands.

Vstupný a výstupný signál z bloku je v tvare:

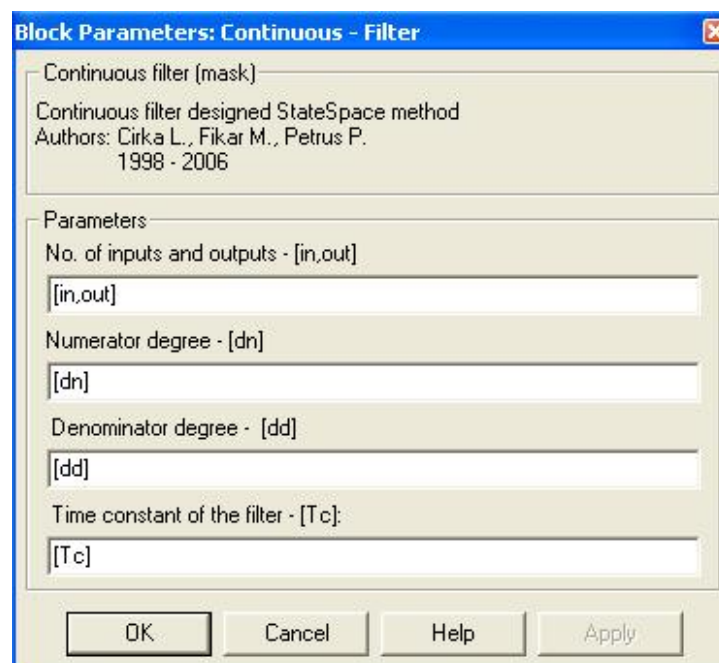
Vstup

$y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t), u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t)$

Výstup

$y(t), y'(t), y''(t) \dots, u(t), u'(t), u''(t) \dots$

Blok **Continuous – Filter** (obr. 3.3.2) preberá z MATLABu päť parametrov, ktoré slúžia na výpočet stavového opisu filtra.

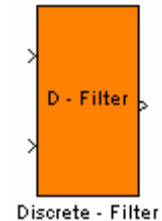


Obr. 3.3.2 Dialógové okno bloku Continuous filter

Vstupné parametre bloku **Continuous – Filter**:

- **in** – počet vstupov
- **out** – počet výstupov
- **dn** – stupeň čitateľa
- **dd** – stupeň menovateľa
- **Tc** – časová konštanta filtra

Blok **Discrete – Filter**



predstavuje algoritmus výpočtu diskretného filtra pre vstupný a výstupný signál navrhnutý metódou stavového opisu. Výpočet stavového opisu diskretného filtra je realizovaný v maske bloku v položke Initialization commands.

Vstupný a výstupný signál z bloku je v tvare:

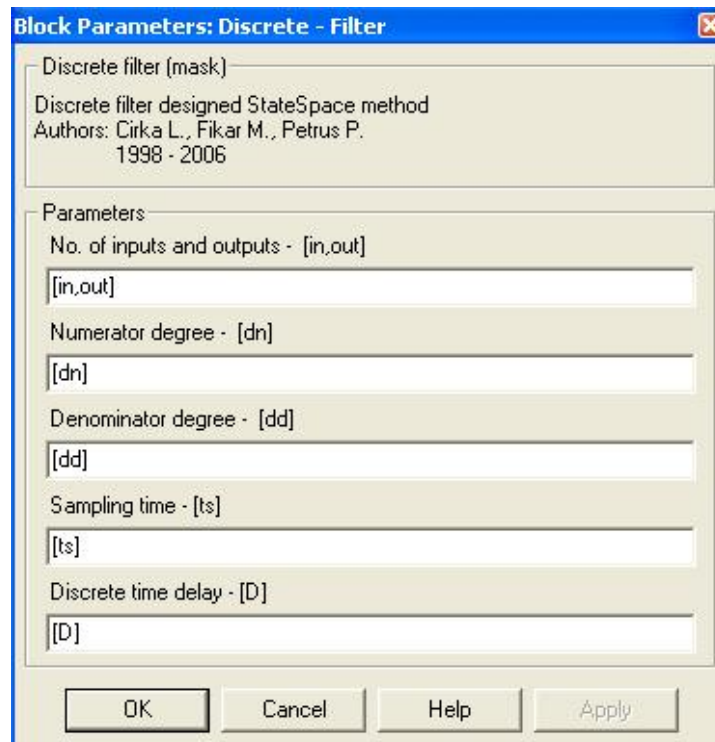
Vstup

$y_1(k), \dots, y_n(k), u_1(k), \dots, u_m(k)$

Výstup

$y(k), y(k-1), y(k-2) \dots, u(k-1-D_s), \dots$

Blok **Discrete – Filter** preberá z MATLABu šesť parametrov, ktoré slúžia na výpočet stavového opisu filtra. Blok a jeho dialógové okno je zobrazené na obr. 3.3.3.



Obr. 3.3.3 Dialógové okno bloku Discrete filter

Vstupné parametre bloku **Discrete – Filter**:

- **in** – počet vstupov
- **out** – počet výstupov
- **dn** – stupeň čitateľa
- **dd** – stupeň menovateľa
- **ts** – perióda vzorkovania
- **D** – dopravné oneskorenie

Blok **Continuous identification (SISO)**



slúži na identifikáciu spojitých SISO systémov. Blok je zamaskovaný systém, ktorý obsahuje spojitý filter pre vstupný a výstupný signál.

Vstup do bloku musí byť v tvare:

1. vstup → **y(t)**
2. vstup → **u(t)**

Výstupný vektor je rozdelený na 4 časti:

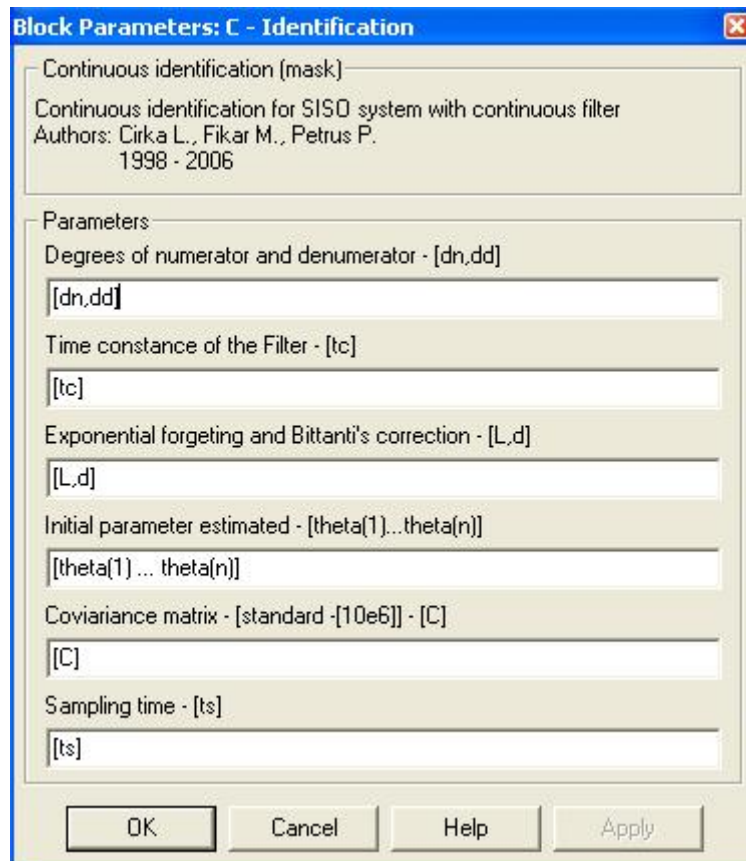
1. **B** – čitateľ identifikovaného systému
2. **A** – menovateľ identifikovaného systému
3. **Covariance matrix** – hodnota kovariančnej matice
4. **Prediction error** – hodnota predikčnej chyby

V bloku **Continuous identification (SISO)** (obr. 3.3.4) je zabezpečené ukladanie hodnôt B, A a kovariančnej matice do MATLABu ako parametre **par_B**, **par_A**, **cov_matrix**. Údaje sú ukladané vo forme štruktúry. Blok preberá z MATLABu osem parametrov, ktoré pre správnu identifikáciu musia byť všetky zadane. Veľkosť parametra **theta** musí zodpovedať súčtu identifikovaných parametrov v každom výstupe. Z toho vyplýva, že rozsah theta musí byť veľkosti $n \cdot m$.

Vstupné parametre bloku **Continuous identification (SISO)**:

- **dn** – stupeň čitateľa systému
- **dd** – stupeň menovateľa systému
- **tc** – časová konštanta filtra
- **L** – exponenciálne zabúdanie
- **d** – Bitantiho korekcia
- **theta** – začiatkové parametre
- **C** – kovariančná matica
- **ts** – perióda vzorkovania

Po kliknutí na tlačidlo **help** v dialógovom okne bloku sa zobrazia informácie o danom bloku: použitá metóda, vstupné (výstupné) parametre a iné informácie o bloku.



Obr. 3.3.4 Dialógové okno bloku Continuous identification

Blok **Discrete identification (SISO)** (obr. 3.3.5)



je navrhnutý pre identifikáciu diskretných SISO systémov. Blok je zamaskovaný systém, ktorý obsahuje aj diskretný filter a blok identifikácie. Blok obsahuje dva vstupné a štyri výstupné porty, ktorých šírka je presne dimenzovaná.

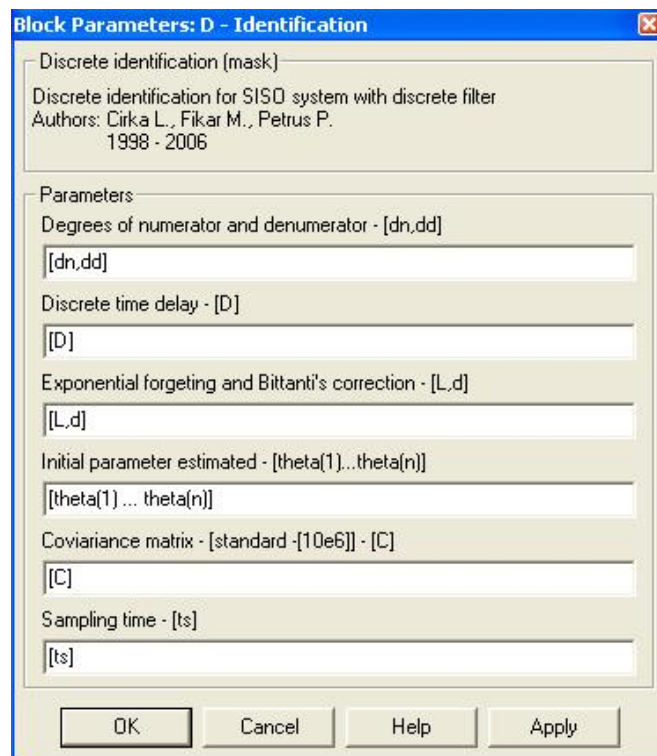
Vstup do bloku musí byť v tvare:

1. vstup → **y(t)**
2. vstup → **u(t)**

Výstupný vektor je rozdelený na 4 časti:

1. **B** – čitateľ identifikovaného systému
2. **A** – menovateľ identifikovaného systému
3. **covariance matrix** – hodnota kovariančnej matice
4. **prediction error** – hodnota predikčnej chyby

Blok preberá z MATLABu osem parametrov, ktoré pre správnu identifikáciu musia byť zadane. Veľkosť parametra **theta** musí zodpovedať súčtu identifikovaných parametrov v každom výstupe. Z toho vyplýva, že rozsah **theta** musí byť veľkosti $n \cdot m$. Počet identifikovaných parametrov sa vypočítava z údaju stupňa čitateľa a menovateľa.



Obr. 3.3.5 Dialógové okno bloku Discrete identification (SISO)

Vstupné parametre bloku **Discrete identification (SISO)**:

- **dn** – stupeň čitateľa
- **dd** – stupeň menovateľa
- **D** – dopravné oneskorenie
- **L** – exponenciálne zabúdanie
- **d** – Bitantiho korekcia
- **theta** – začiatkové parametre
- **C** – kovariančná matica
- **ts** – perióda vzorkovania

V maske bloku je zabezpečené ukladanie hodnôt identifikovaných parametrov A , B a kovariančnej matice do MATLAB workshopu ako premenné **par_A**, **par_B**, **cov_matrix**.

Blok **Continuous identification (MIMO)** (obr. 3.3.6)



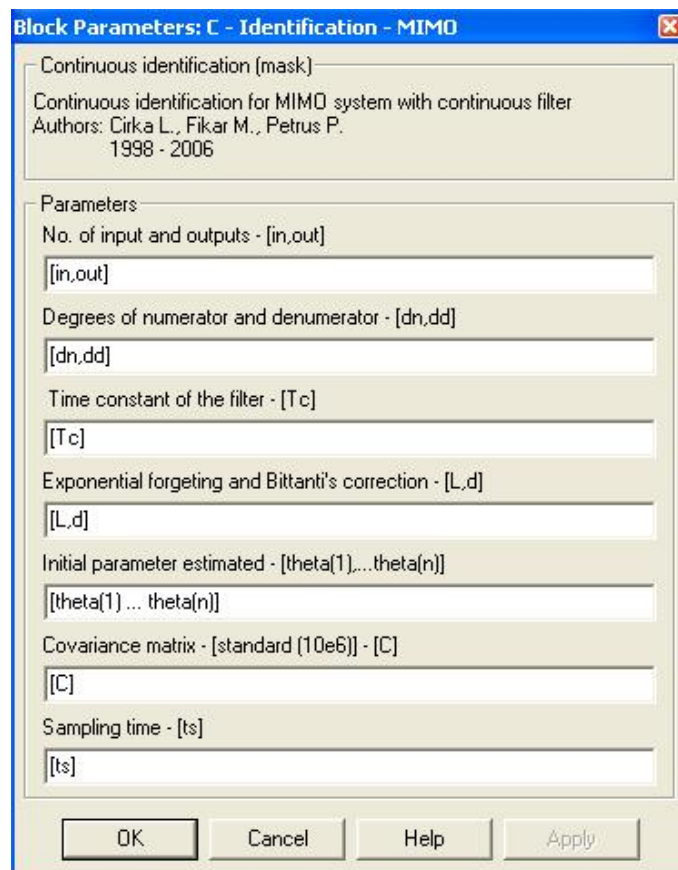
slúži na identifikáciu dynamických (MIMO) systémov, ktorý v sebe obsahuje spojitý filter. Blok obsahuje dva vstupné a štyri výstupné porty.

Vstup do bloku musí byť v tvare:

1. vstup $\rightarrow \mathbf{y(t)}$
2. vstup $\rightarrow \mathbf{u(t)}$

Výstupný vektor je rozdelený na štyri časti:

1. **B** – čitateľ identifikovaného systému
2. **A** – menovateľ identifikovaného systému
3. **Covariance matrix** – hodnota kovariančnej matice
4. **Prediction error** – hodnota predikčnej chyby



Obr. 3.3.6 Dialógové okno bloku Continuous identification (MIMO)

Vstupné parametre bloku **Continuous identification (MIMO)**:

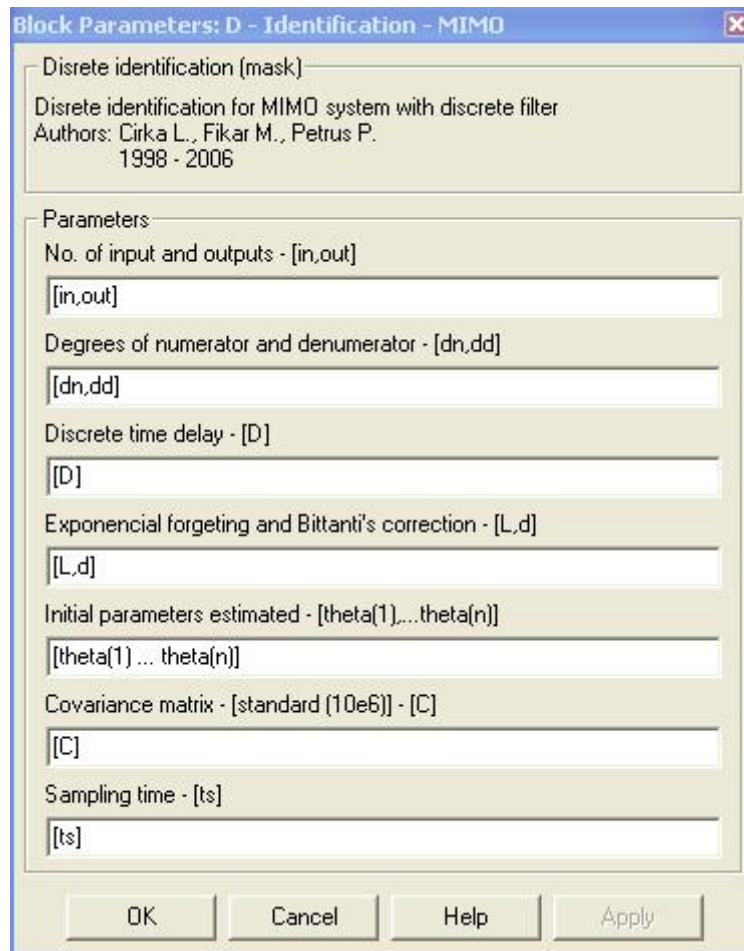
- **in** – počet vstupov
- **out** – počet výstupov
- **dn** – stupeň čitateľa
- **dd** – stupeň menovateľa
- **Tc** – časová konštanta filtra
- **L** – exponenciálne zabúdanie
- **d** – Bitantiho korekcia
- **theta** – začiatkové parametre
- **C** – kovariančná matica
- **ts** – perióda vzorkovania

Pri simulácií je dôležité, aby boli všetky parametre zadané. Parameter **theta** obsahuje počiatočné hodnoty parametrov, z ktorých vychádza simulácia a preto je dôležité, aby veľkosť parametra **theta** bola $n \times m$. Na rozdiel od bloku LDDIF blok C - Identification (MIMO) obsahuje aj zamaskovaný filter navrhnutý metódou stavového opisu.

Blok **Discrete identification (MIMO)** (obr. 3.3.7)



je navrhnutý na identifikáciu dynamických diskretných MIMO systémov. Do bloku vstupujú dva vstupy v poradí **y(t)**, **u(t)** a vystupujú štyri výstupy usporiadané v poradí **B**, **A**, **kovariančná matica**, ktoré sú presmerované do MATLAB workshopu ako premenné **par_B**, **par_A**, **cov_matrix**. Pri danom bloku preberá funkcia z MATLABu desať parametrov, ktoré pre správnu identifikáciu musia byť zadané. Blok obsahuje tiež skrátenú nápovedu, ktorá sa zobrazí po kliknutí na tlačidlo **help**. Nápoveda bloku obsahuje základné informácie o danom bloku (použitá metóda, prehľad vstupných a výstupných parametrov,...).



Obr. 3.3.7 Dialógové okno bloku Discrete identification(MIMO)

Vstupné parametre bloku **Discrete identification (MIMO)**:

- **in** – počet vstupov do bloku
- **out** – počet výstupov z bloku
- **dn** – stupeň čitateľa prenosu systému
- **dd** – stupeň menovateľa prenosu systému
- **D** – dopravné oneskorenie
- **L** – exponenciálne zabúdanie
- **d** – Bitantiho korekcia
- **theta** – začiatkové parametre identifikácie
- **C** – kovariančná matica
- **ts** – perióda vzorkovania

Blok **Demos**



Kliknutím na blok sa zobrazí kontextové menu z ktorého je možné vybrať prezentáciu použitia toolboxu pre tri rôzne systémy. Kontextové menu bloku Demos je zobrazené na obr. 3.3.8.



Obr. 3.3.8 Kontextové menu bloku Demos

Kliknutím na jednotlivé tlačidlá sa zobrazí príslušná bloková schéma identifikácie daného systému. Blok **Demos** má informatívny charakter. Slúži na oboznámenie používateľa toolboxu IDTOOL o praktickom využití blokov toolboxu pri identifikácii systémov.

Menu obsahuje tri tlačidlá:

- **SISO Continuous** – identifikácia spojitého systému druhého rádu vo forme prenosu
- **SISO Discrete** – identifikácia diskrétného systému tretieho rádu vo forme prenosu v tvare z^{-1}
- **MIMO Continuous** – identifikácia spojitého systému prvého rádu s dvoma vstupmi a výstupmi

4 Praktická časť

V tejto kapitole sú zobrazené blokové schémy a priebehy simulácií na PC. Pre overenie funkčnosti blokov toolboxu IDTOOL som vytvoril schémy identifikácií pre jednotlivé typy systémov.

Schémy identifikácií:

- spojitého systému druhého rádu s prenosom $G_s(s) = \frac{2s+1}{2s^2+5s+1}$
- diskrétného systému tretieho rádu s prenosom v tvare

$$G_s(z^{-1}) = \frac{0.1464z^{-1} + 0.00536z^{-2} - 0.04142z^{-3}}{1 - 1.601z^{-1} + 0.7388z^{-2} - 0.08208z^{-3}}$$

- spojitého MIMO systému prvého rádu opísaného stavovým opisom

$$x' = A.x + B.u$$

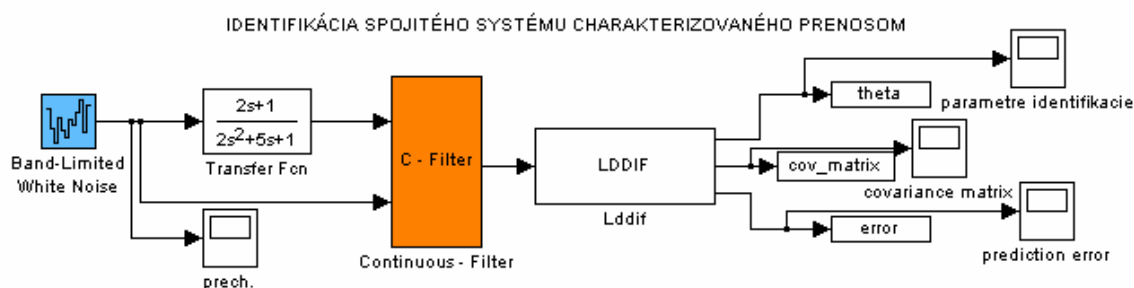
$$y = C.x + D.u$$

kde $A = \begin{bmatrix} -23 & 30 \\ 15 & -20 \end{bmatrix}$, $B = \begin{bmatrix} 1 & 1.3 \\ 1.1 & 2.1 \end{bmatrix}$, $C = \begin{bmatrix} 23 & -30 \\ -15 & 20 \end{bmatrix}$, $D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$

4.1 Výsledky simulácií v MATLABe

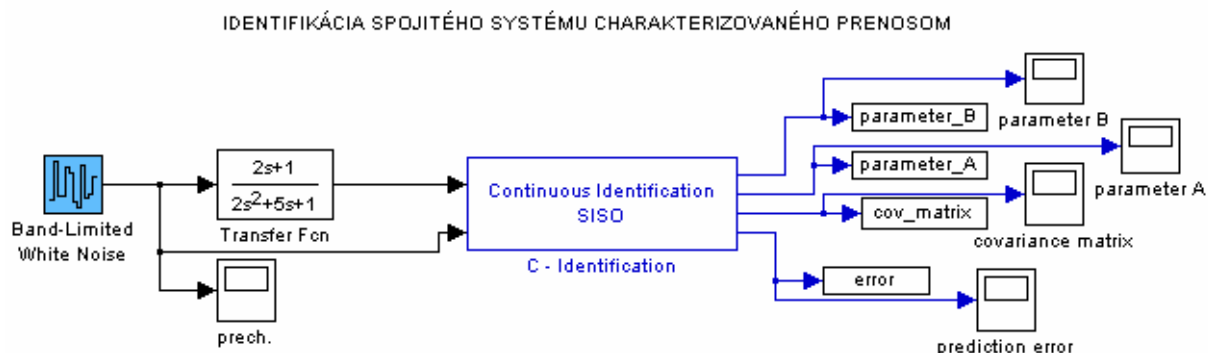
Schéma identifikácie spojitého systému druhého rádu charakterizovaného prenosom

v tvare $G_s(s) = \frac{2s+1}{2s^2+5s+1}$ je zobrazená na obr. 4.1.1



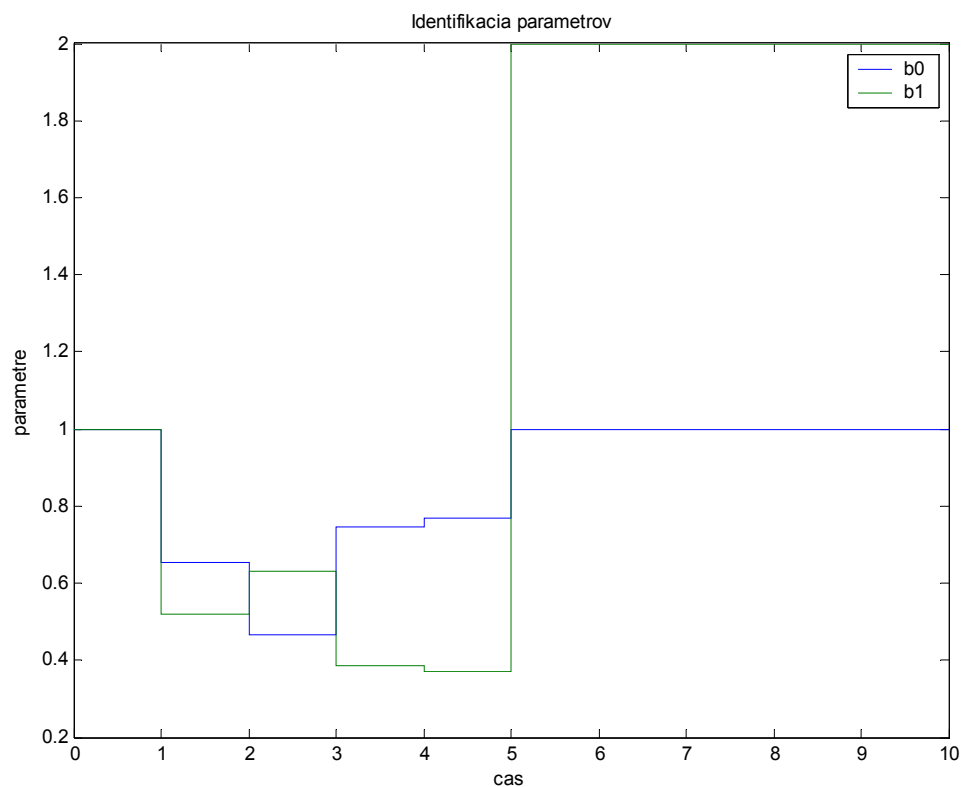
Obr. 4.1.1 Schéma identifikácie spojitého systému 2. rádu

Schému (obr.4.1.2) na identifikáciu spojitého systému je možné vytvoriť aj druhým spôsobom a to s využitím bloku Continuous identification (SISO).

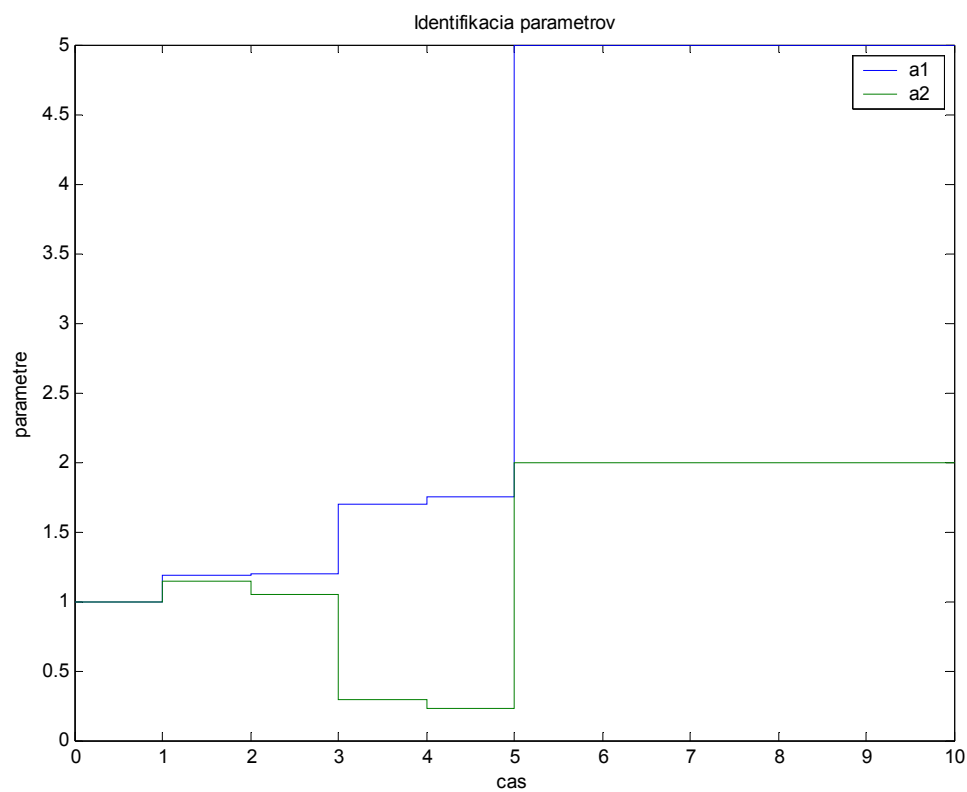


Obr. 4.1.2 Bloková schéma identifikácie spojitého systému

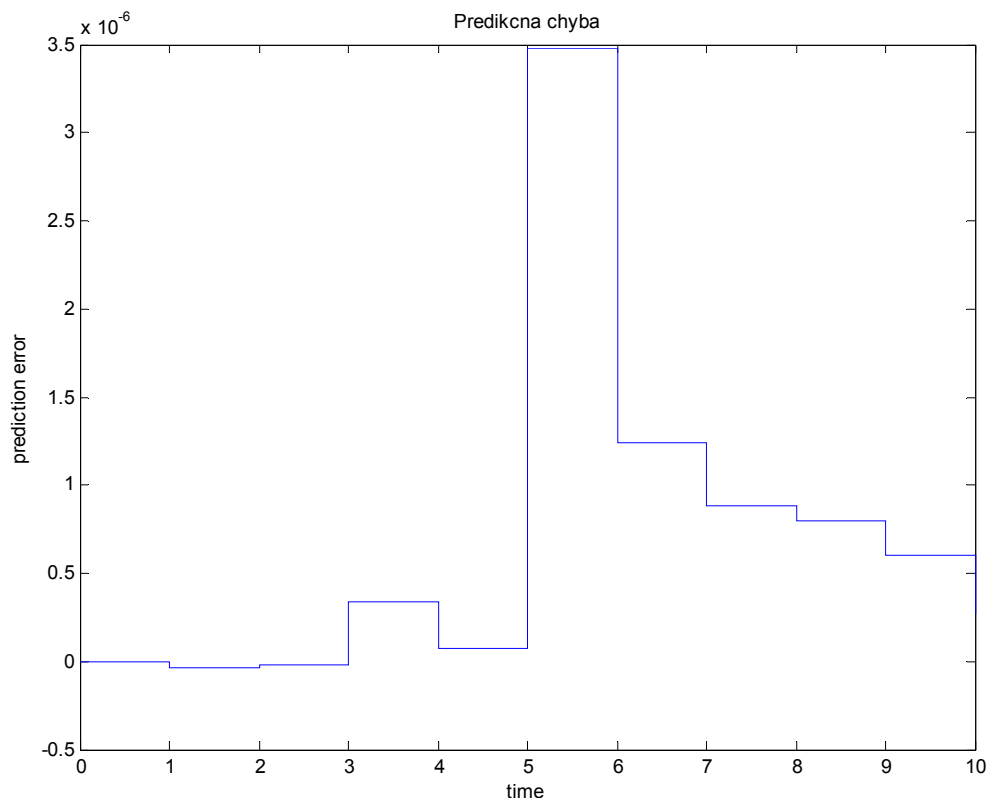
Na overenie funkčnosti identifikácie spojitých systémov sme zvolili systém druhého rádu charakterizovaný prenosom: $G_s(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{2s+1}{2s^2+5s+1}$. Ako vstupný signál do systému bol použitý generátor bieleho šumu s hodnotami parametrov: Noise power = 100, Sample time = 2, čas simulácie = 10 s. Zo schémy (obr. 4.1.1) je možné vidieť, že výstup z bloku LDDIF obsahuje iba tri porty. Na rozdiel od bloku Continuous identification (SISO) v schéme (obr. 4.1.2), ktorý obsahuje štyri výstupné porty. Je to spôsobené tým, že v bloku Continuous – identification sú identifikované parametre rozdelené na čitateľa a menovateľa prenosu. Identifikované parametre čitateľa prenosu systému sú zobrazené na obr. 4.1.3. Parametre menovateľa sú zobrazené na obr. 4.1.4. Na obr. 4.1.5 je zobrazený priebeh predikčnej chyby počas identifikácie.



Obr. 4.1.3 Identifikácia parametrov čitateľa prenosu systému



Obr. 4.1.4 Identifikácia parametrov menovateľa prenosu systému



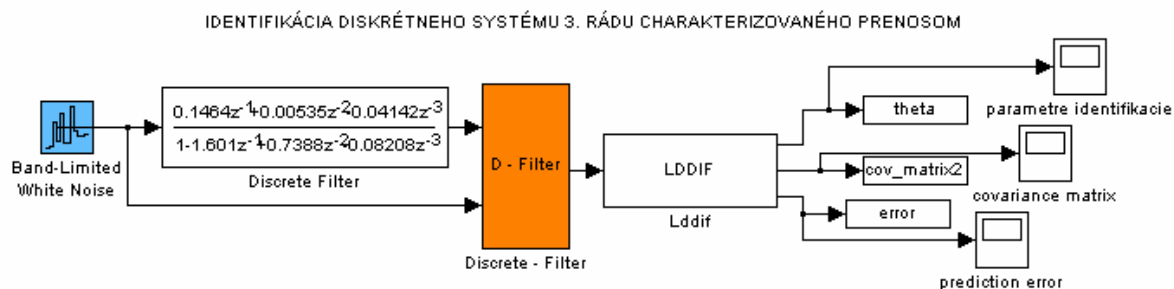
Obr. 4.1.5 Predikčná chyba v priebehu identifikácie

Na overenie správnosti identifikácie diskrétnych systémov sme zostavili schému (obr. 4.1.6), ktorá obsahuje identifikovaný systém v tvare prenosu v z^{-1} transformácií. Na obr. 4.1.7 je zobrazená druhá možnosť zostavenia identifikačnej schémy.

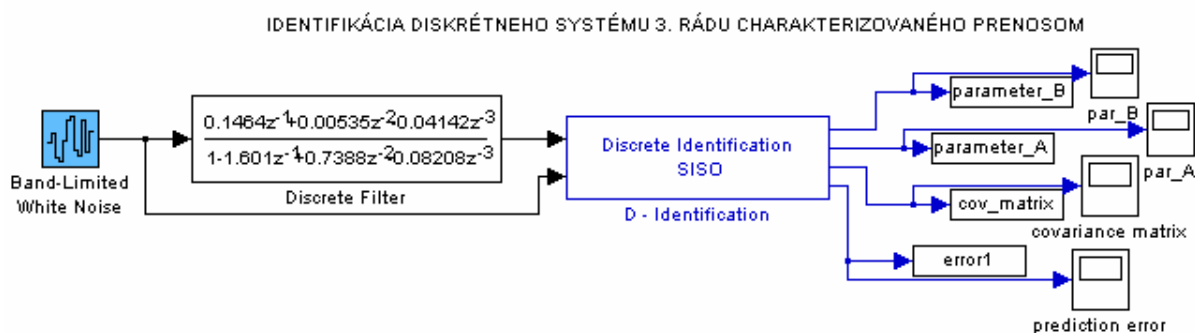
Identifikovaný systém :

$$G_s(z^{-1}) = \frac{0.1464z^{-1} + 0.00536z^{-2} - 0.04142z^{-3}}{1 - 1.601z^{-1} + 0.7388z^{-2} - 0.08208z^{-3}}$$

Ako v predchádzajúcej schéme bol aj tu použitý ako vstupný signál biely šum s nastavenými parametrami: Noise power = 100, Sample time = 2 a čas simulácie = 10s. Výsledky identifikácie diskrétného systému rozdeleného na parametre čitateľa a menovateľa prenosu systému sú zobrazené na obr. 4.1.8 a obr. 4.1.9.

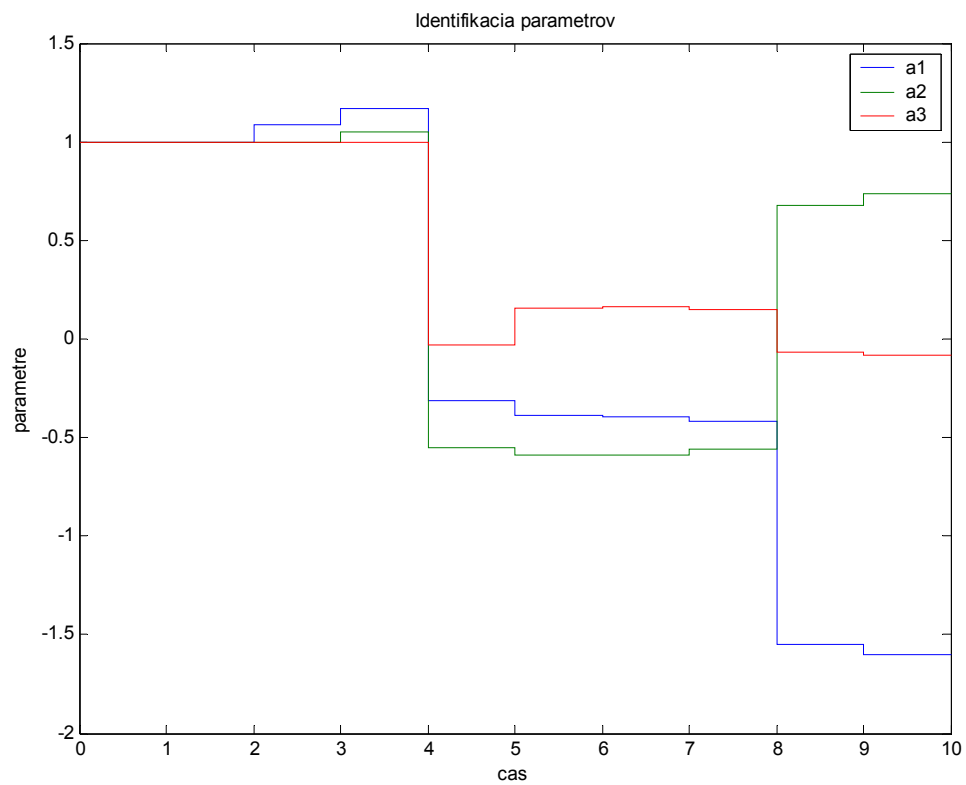


Obr. 4.1.6 Schéma identifikácie diskrétného systému 3. rádu

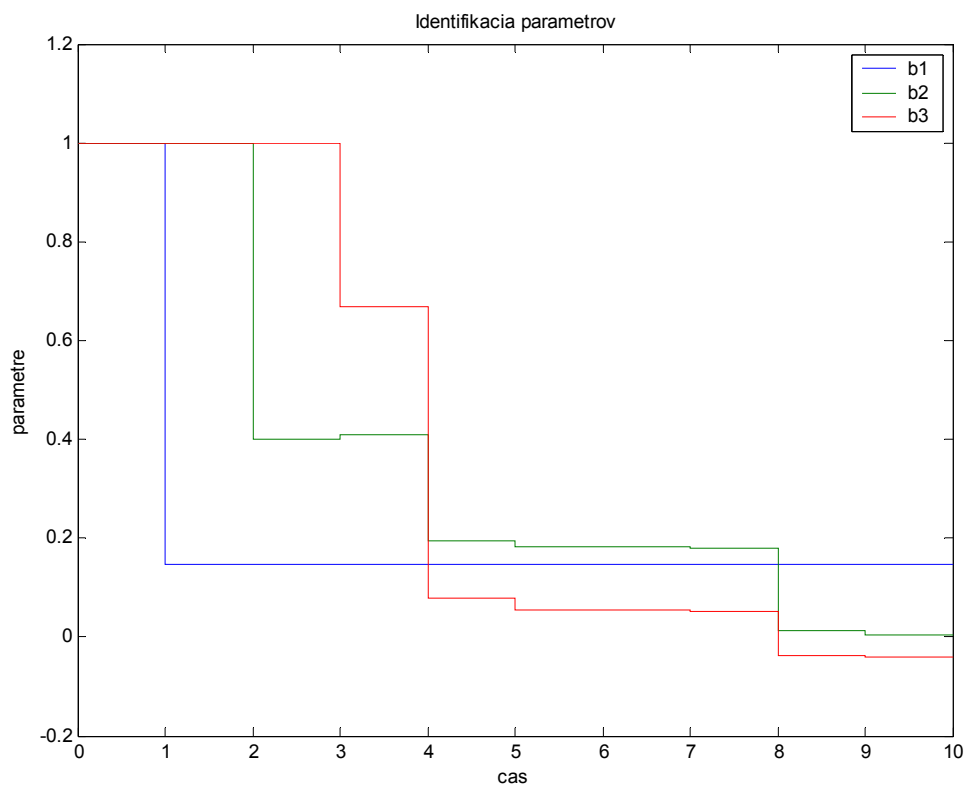


Obr. 4.1.7 Schéma identifikácie diskrétného systému 3. rádu

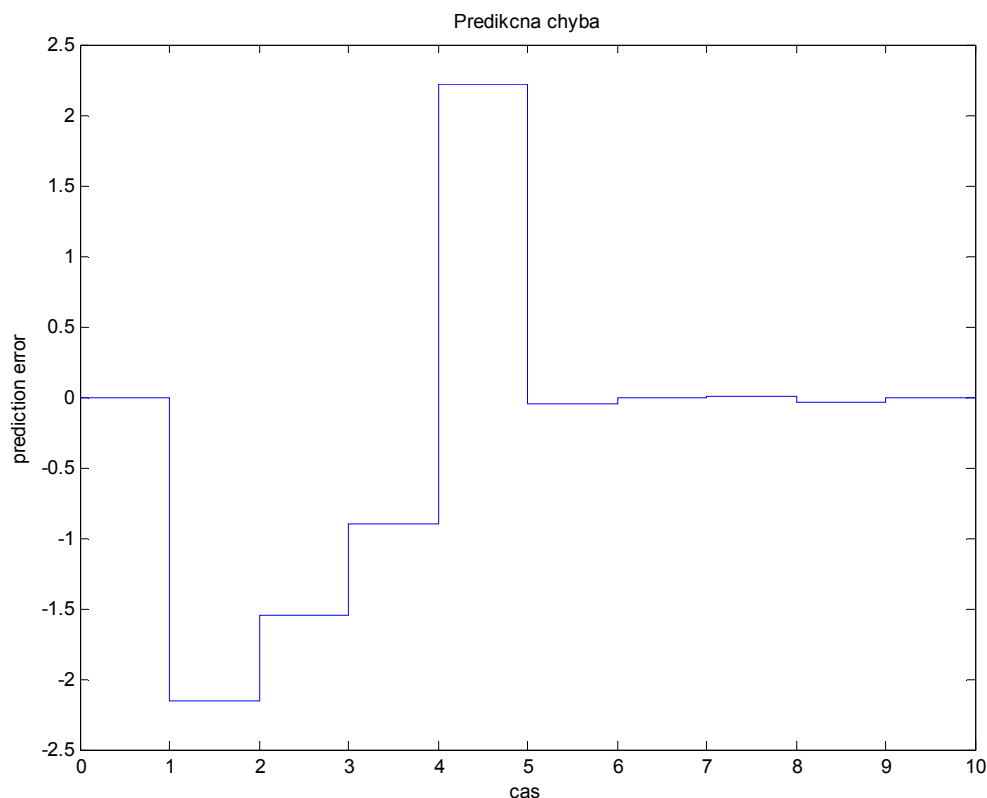
Jednotlivé výstupy z blokov LDDIF a Discrete Identification sú presmerované do MATLABu kvôli jednoduchšiemu prístupu k hodnotám identifikovaných parametrov. Z dôvodu prehľadnosti sú identifikované parametre a predikčná chyba presmerované tiež na grafický výstup. Z obr. 4.1.6 a 4.1.7 je vidieť, že identifikačnú schému je možné zostaviť dvoma spôsobmi. Schéma (obr. 4.1.6) znázorňuje blokovú schému identifikácie s použitými blokmi D – Filter a LDDIF. Druhý spôsob zostavenia schémy je založený na použití bloku Discrete identification (SISO), ktorý obsahuje v zamaskovanej podobe aj diskrétny filter. Výsledky identifikácie parametrov systému pri použití blokových schém (obr. 4.1.6 a 4.1.7) sú totožné.



Obr. 4.1.8 Identifikácia parametrov čitateľa prenosu systému



Obr. 4.1.9 Identifikácia parametrov čitateľa prenosu systému



Obr. 4.1.10 Predikčná chyba v priebehu identifikácie

Pre overenie funkčnosti blokov pre MIMO systémy sme zostavili simulačné schémy (obr. 4.1.11 a 4.1.12) pre spojitý MIMO systém s dvoma vstupmi a dvoma výstupmi. Zdrojom vstupných signálov bol generátor bieleho šumu s nastavenými parametrami: Noise power a Sample time. Prvý vstupný signál mal nastavené hodnoty : Noise power = 100, Sample time = 2 a druhý vstup Noise power = 100, Sample time = 1. Identifikovaný MIMO systém je opísaný stavovým opisom vo forme matíc A, B, C, D.

Všeobecný opis MIMO systému prvého rádu:

$$\begin{pmatrix} a_1s+1 & a_2s \\ a_3s & a_4s+1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 & b_2 \\ b_3 & b_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix}$$

$$y_1(a_1s+1) + (a_2s)y_2 = b_1u_1 + b_2u_2$$

$$y_1(a_3s) + (a_4s+1)y_2 = b_3u_1 + b_4u_2$$

$$y_1 = -a_1y_1' - a_2y_2' + b_1u_1 + b_2u_2$$

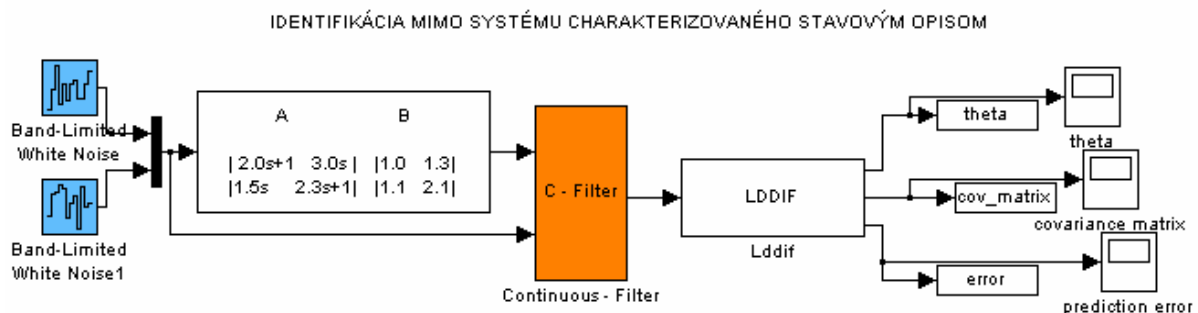
$$y_2 = -a_3y_1' - a_4y_2' + b_3u_1 + b_4u_2$$

Zvolený MIMO systém:

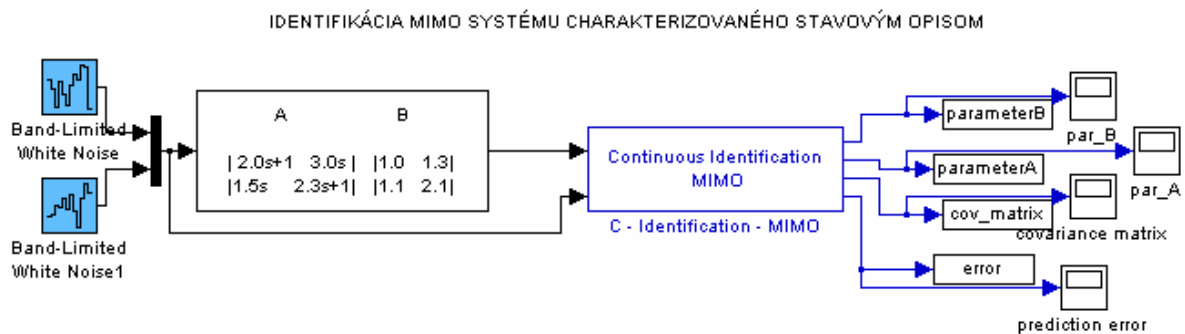
$$A = \begin{bmatrix} 2s+1 & 3s \\ 1.5s & 2.3s+1 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 & 1.3 \\ 1.1 & 2.1 \end{bmatrix}$$

Stavový opis systému vo forme matic A, B, C, D:

$$A = \begin{bmatrix} -23 & 30 \\ 15 & -20 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 & 1.3 \\ 1.1 & 2.1 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 23 & -30 \\ -15 & 20 \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$



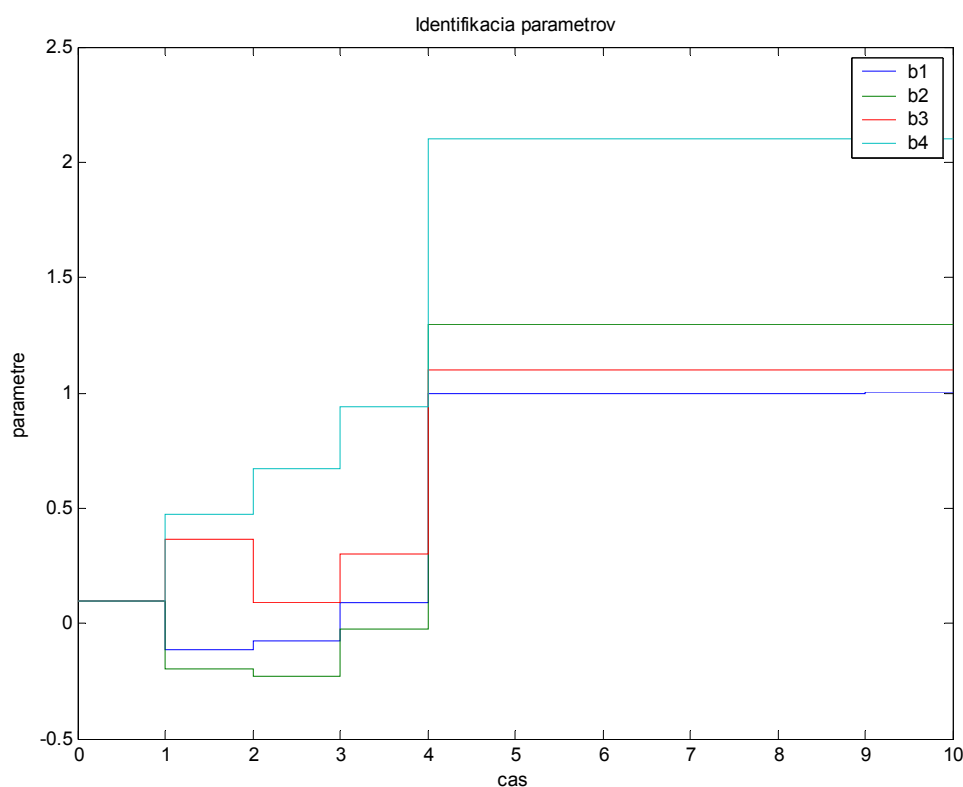
Obr. 4.1.11 Bloková schéma identifikácie MIMO systému



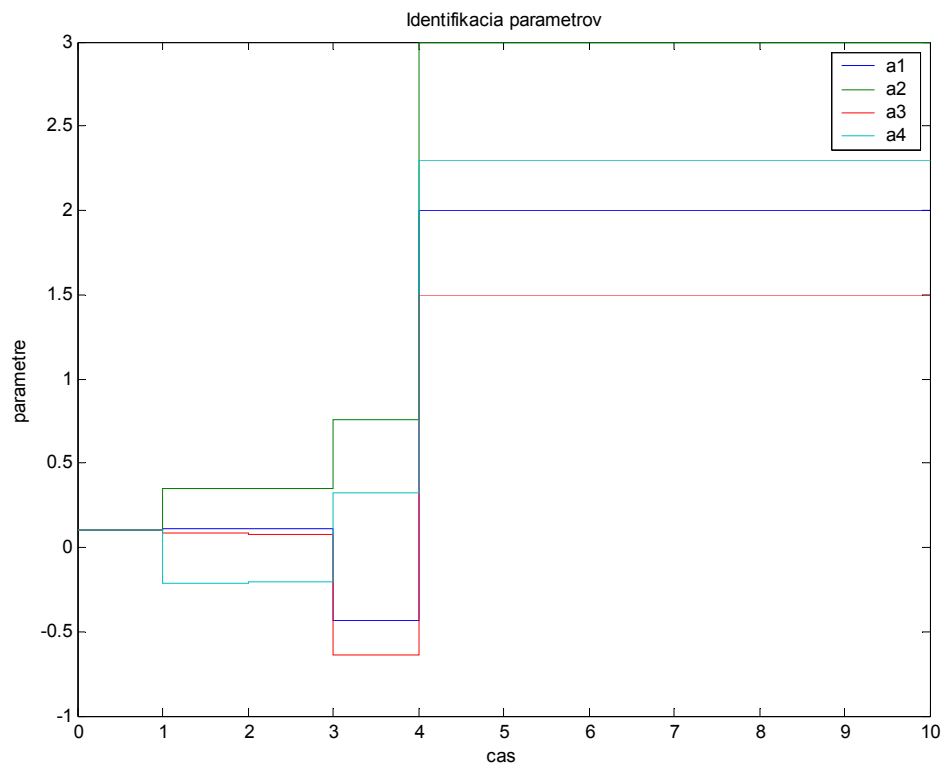
Obr. 4.1.12 Bloková schéma identifikácie MIMO systému

Schémy zobrazujú dva spôsoby zloženia identifikačnej schémy. Jeden zo spôsobov zloženia identifikačnej schémy je založený na použití blokov spojitého filtra a LDDIF, ktorého výstupný signál je rozdelený na parametre : **theta**, **cov_matrix** a **prediction error**.

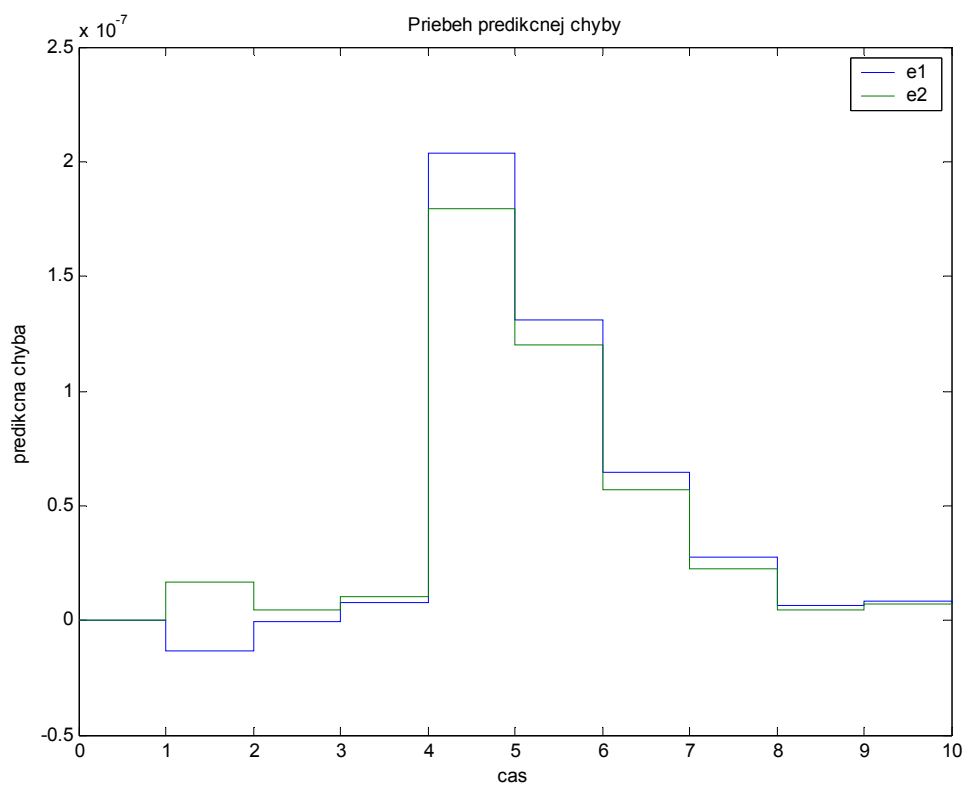
Druhý spôsob je založený na použití bloku Continuous – Identification (MIMO), ktorého výstup je rozdelený podobne ako pri bloku LDDIF ale s tým rozdielom, že parameter **theta** je ešte rozdelený na **čitateľ** a **menovateľ**. Výsledky identifikácie spojitého MIMO systému rozdeleného na parametre čitateľa a menovateľa prenosu systému sú zobrazené na obr.4.1.13 a obr.4.1.14.



Obr. 4.1.13 Identifikácia parametrov čitateľa prenosu systému



Obr. 4.1.14 Identifikácia parametrov menovateľa prenosu systému



Obr. 4.1.15 Pribeh predikčnej chyby

5 Záver

Úlohou diplomovej práce bolo vytvoriť novú verziu knižnice (toolboxu) IDTOOL na identifikáciu dynamických systémov pre MATLAB/SIMULINK. Kvôli zovšeobecneniu toolboxu aj na identifikáciu reálnych systémov bolo potrebné upraviť funkcie **lddif.c** a **lddif_c.c** napísané v jazyku C. Po odskúšaní funkčnosti funkcií sme vytvorili novú verziu toolboxu IDTOOL a to verziu 4. Toolbox IDTOOL obsahuje bloky na identifikáciu dynamických spojitých a diskrétnych systémov. Toolbox je možné použiť aj v kombinácii s riadiacim systémom dSPACE na identifikáciu reálnych systémov. Pri identifikácii pomocou riadiaceho systému dSPACE je nutné blokovú schému skompilovať. Pri kompilácii je dôležité, aby adresár kde sa nachádza kompilovaná schéma obsahoval aj funkcie **lddif.c** a **lddif_c.c**. Pre znázornenie práce s blokmi toolboxu obsahuje IDTOOL aj blok Demos. Blok Demos obsahuje schémy identifikácií pre tri rôzne systémy. V praktickej časti diplomovej práce sme overili funkčnosť jednotlivých blokov toolboxu IDTOOL pre spojitý, diskrétny (SISO) systémy a pre spojitý MIMO systémy. Výsledky identifikácií sú prezentované na príslušných grafoch.

6 Literatúra

- [1] M. Fikar, J. Mikleš. Identifikácia systémov, Vydavateľstvo STU, Bratislava, 1998
- [2] Mathworks corp. Identifikačný toolbox IDENT, USA, 2005
URL: <<http://www.mathworks.com>>
- [3] M. Norgaard, Ole Ravn, N. K. Poulsen. Toolbox NNSYSID, Dánsko, 2002,
URL: <<http://www.iau.dtu.dk/research/control/nnsysid.html>>
- [4] Kollár. FDIDENT toolbox, Budapest, 2005, URL: <<http://www.gamax.hu>>
- [5] G. Ferrari-Trecate. Hybrid Identification Toolbox (HIT), Zurich, Switzerland, 2005, URL: <http://www-rocq.inria.fr/who/Giancarlo.Ferrari-Trecate/HIT_toolbox.html>
- [6] Eric C. Kerrigan, Huixin Chen, Jan M. Maciejowski. CUEDSID toolbox England, 2002, URL: <www-control.eng.cam.ac.uk/jmm/cuedsid>
- [7] Dr. Vasile Sima. SLICOT toolbox, Romania, 2005,
URL: <<http://www.slicot.de>>
- [8] Mathworks corp. Robust control toolbox 3, USA, 2005,
URL: <<http://www.mathworks.com>>

7 Príloha

Prílohu k diplomovej práci tvorí inštalačné CD, ktoré obsahuje identifikačný toolbox IDTOOL pre verzie MATLABu 5.3, 6.5 a 7.0.1. Inštalačné CD obsahuje tri adresáre s názvami matlab_5.3, matlab_6.5 a matlab_7.0.1. Jednotlivé adresáre obsahujú identifikačný toolbox IDTOOL. Na CD je priložená aj diplomová práca v elektronickej podobe (diplomová_práca.pdf). Hlavný adresár toolboxu IDTOOL obsahuje aj upravené funkcie **lddif.c** a **lddif_c.c**.