

Využití System Identification Toolboxu

System Identification Toolbox Utilization

Martin Roháček

Bakalářská práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin ROHÁČEK**
Osobní číslo: **A07311**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**

Téma práce: **Využití System Identification Toolboxu**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte doporučenou literaturu a zpracujte literární rešerši na dané téma.
2. Specifikujte pojem a cíle identifikace systémů, používané způsoby a metody.
3. Seznamte se ze základními vlastnostmi a prostředím System Identification Toolbox jako součásti Matlab/Simulink.
4. Popište jednotlivé demo příklady a uveďte způsoby jejich použití, modifikujte pro studijní účely.
5. Popište práci s jednorozměrnými systémy v System Identification Toolbox, důraz je kladen na offline soubory naměřených dat.
6. Vytvořte průvodce System Identification Toolbox pro studijní účely.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. LJUNG, L.: System Identification Toolbox User's Guide. The MathWorks, Inc, 2005.
2. LJUNG, L., LJUNG, E.: System Identification: Theory For The User. Prentice Hall Ptr, 1999.
3. SÖDERSTÖM, T., STOICA, P.: System identification. Prentice Hall Inc., 1989.
4. JUANG, J.: Applied System Identification. Prentice Hall Ptr, 1993.
5. FIKAR, M., MIKLEŠ, J.: Identifikácia systémov I, II. STU Bratislava 1999, 2004.
6. Documentation: User's Guide (System identification toolbox): The MathWorks, Inc. Dostupný z URL:
<http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/ident/ug/ug_intropage.html>.
7. Documentation: Linear Model Identification: The MathWorks, Inc. Dostupný z URL:
<<http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/ident/ug/bqs6msi.html>>.
8. AT&P journal 6/2008: Priemyselný software, Matlab: System Identification Toolbox. Dostupný z URL:
<http://www.atpjournal.sk/casopisy/atp_08/pdf/atp-2008-06-68.pdf>.
9. NOSKIEVIČ, P.: Modelování a identifikace systémů. Montanex a.s., 1999.

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Roman Prokop, CSc.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce:

5. března 2010

Termín odevzdání bakalářské práce:

1. června 2010

Ve Zlíně dne 5. března 2010



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



doc. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

V prostředí Matlab je vypracovaný rad efektívnych programových prostriedkov (nazývaných Toolboxy) pre konkrétne vedecké a inžinierske využitie. Jedným z nich je System Identification Toolbox (SIT), ktorý slúži pre identifikáciu dynamických systémov z nameraných dát. Cieľom práce je vysvetlenie základných pojmov a metodík, vytvorenie postupov a príkladov pre aplikačné použitie tohto toolboxu. Dôraz je kladený na identifikáciu jednorozmerných systémov s využitím offline súborov nameraných dát. V teoretickej časti práce sú uvedené základné pojmy, klasifikácie metód a postupov identifikácie v prostredí toolboxu. Praktická časť obsahuje popis SIT a jeho prepojenie s Matlab/Simulink. Práca poskytuje podrobný návod pre identifikáciu simulovaného aj reálneho merania. Príloha obsahuje sprievodcu pre študijné účely.

Kľúčové slová:

Experimentálna identifikácia, SIT, dynamický model, odhad modelu, validácia

ABSTRACT

MATLAB program environment offer a series of effective tools (called toolboxes) for the specific scientific and engineering applications. One of them is System Identification Toolbox (SIT), which is used for identification of dynamic systems from measured data. The aim of the work is to explain basic concepts and methodologies, developing practices and examples for application utilization of the toolbox. The emphasis is on identifying one-dimensional systems using data files measured offline. Basic concepts, classification methods and identification procedures in the environment of the toolbox are described in the theoretical part. The practical part includes description of the SIT and its interconnection with other Matlab/Simulink utilities. The work provides detailed instructions for the identification of real and simulated measurements. The annex contains a guide for study purposes.

Keywords:

Experimental identification, SIT, dynamic model, estimate model, validation

Veľké poďakovanie patrí vedúcemu bakalárskej práce prof. Ing. Romanovi Prokopovi, CSc. za cenné pripomienky, pomoc pri pochopení základov práce, poskytnutie materiálov z oblasti identifikácie a čas vynaložený pri riešení problematiky.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČASŤ	11
1 ZÁKLADNÉ POJMY	12
1.1 ROZDIELNE PRÍSTUPY K IDENTIFIKÁCI SYSTÉMOV	13
1.1.1 Analytická identifikácia (White box).....	13
1.1.2 Experimentálna identifikácia (Black box)	13
1.2 POJMY POUŽÍVANÉ V EXPERIMENTÁLNEJ IDENTIFIKÁCI	14
2 ROZDELENIE IDENTIFIKAČNÝCH METÓD	15
2.1 MATEMATICKÉ MODELY	15
2.2 MATEMATICKÝ APARÁT	15
2.3 VYHODNOTENIE DÁT	16
2.4 VYHODNOTENIE KVALITY MODELU	16
2.5 ALGORITMY SPRACOVANIA DÁT	18
3 POSTUP PRI IDENTIFIKÁCI	19
3.1 DÔLEŽITÉ OTÁZKY VERIFIKÁCIE MODELU	20
3.2 IDENTIFIKAČNÁ VÝDATNOSŤ	20
4 VSTUPNÉ SIGNÁLY	22
4.1 DETERMINISTICKÉ VSTUPNÉ SIGNÁLY	22
4.2 NÁHODNÉ SIGNÁLY	24
4.3 PSEUDONÁHODNÉ SIGNÁLY	25
4.4 BIELY ŠUM	25
II PRAKTICKÁ ČASŤ	27
5 POPIS PROSTREDIA TOOLBOXU	28
5.1 IMPLEMENTÁCIA TOOLBOXU V SIMULINKU	30
5.2 ZÁKLADNÝ POSTUP POUŽITIA SIT	32
5.2.1 Vloženie dát do GUI	33
5.2.2 Zobrazenie grafického priebehu nameraných dát	33
5.2.3 Určenie údajov na odhadovanie a validáciu	34
5.2.4 Odhad modelu, určenie štruktúry	34
5.2.5 Validácia, kontrola modelov	38
5.2.6 Záverečné overenie simulovaného príkladu.....	41
6 IDENTIFIKÁCIA REÁLNYCH DÁT	42
6.1 TLMENÝ OSCILÁTOR.....	42
6.1.1 Import dát do prostredia SIT	43
6.1.2 Zobrazenie dát	44
6.1.3 Spracovanie dát pred odhadovaním modelu	44
6.1.4 Odhad modelu stavového priestoru.....	45

6.1.5 Validácia modelov	46
7 SPRIEVODCA SIT	48
ZÁVER.....	50
CONCLUSION	52
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	54
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	55
ZOZNAM OBRÁZKOV	56
ZOZNAM PRÍLOH.....	58

ÚVOD

Matematické vyjadrenia rôznych procesov, fyzikálnych javov, situácií, bilancií a ďalších objektov reálneho sveta stoja v popredí vedeckého záujmu už niekoľko storočí. V minulých storočiach bola pozornosť venovaná najmä všeobecným fyzikálnym, prírodným a chemickým zákonom a matematické modely z nich boli deduktívne odvodzované. Takéto modelovanie sa nazýva analytické. V posledných desaťročiach sa pozornosť stále viac presúva na metódy experimentálne, kde sa matematické vyjadrenia hľadajú na základe spracovania nameraných údajov. Pre systémy statické a dynamické sa teda obvykle pomocou číslícových počítačov používajú vektory dát - údajov vstupných a výstupných veličín, ktoré sú na objekte merateľné. V oblasti teórie riadenia je podmienkou pre kvalitné riadenie lineárnych či nelineárnych procesov určenie, čo najpresnejšieho matematického, prípadne fyzikálneho modelu. Cieľom identifikácie je matematickým popisom priblížiť chovanie skúmaného systému. Nájdenie riešenia nie je triviálne už z hľadiska množstva popisujúcich modelov. Pre praktické aspekty sa snažíme nájsť popis, ktorého reakcia na vstupný signál bude čo najbližšia výstupu pozorovaného dynamického systému.

Práca sa zameriava na experimentálnu identifikáciu offline dát, nevyžaduje popis vnútorných procesov v systéme, potrebuje však možnosť experimentovania s objektom. Vo všeobecnosti platí, že čím vyššie sú znalosti o systéme, tým presnejší môže popis. Najmä v posledných 50 rokov zažíva táto oblasť búrlivý rozvoj. V procese identifikácie je problémom aj vhodný, dostatočne informačne prínosný vstupný signál, jeho spektrum musí byť dostatočne široké. K tomu možno použiť deterministické signály, ktoré vyžadujú experiment mimo priemyselnej prevádzky. V prostredí Matlab bol vypracovaný sofistikovaný nástroj System identification toolbox (SIT), ktorý pokrýva niekoľko metód a prístupov v oblasti experimentálnej identifikácie. Ponúka možnosť jednoduchého, ale veľmi účinného grafického prostredia. Používa metódy diskrétného odhadu, pokročilé možnosti validácie dát, ktoré sú ukázané v priebehu práce. Umožňuje transformáciu na prenosovú funkciu, ktorá je pre návrh riadenia relevantná.

Práca objasňuje pojem experimentálnej identifikácie a porovnáva niektoré rozdiely s analytickou identifikáciou. Popisuje jednotlivé modely a metódy, ktoré sú dôležité a často používané pri identifikácii. Podrobne rozoberá grafické prostredie a jeho súčasti. Podáva teoretický aj praktický postup určovania modelu zameraný na prostredie SIT, ako

aj popis vstupných signálov. Postupne je uvedené rozdelenie identifikačných metód, analýza vstupných signálov, typy a vyhodnotenie kvality získaných modelov. V praktickej časti je popísané užívateľské rozhranie GUI, použitie toolboxu pre simulačne nagenované dáta a v konečnej fáze aj pre laboratórne namerané dáta. Ďalej je uvedený spôsob importu dát do prostredia SIT a validácia modelov.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 ZÁKLADNÉ POJMY

Základnými pojmami pri identifikácii systémov sú reálny objekt a jeho model. Pod pojmom reálny objekt budeme mať na mysli originál, reálne zariadenie, predmet objektívnej reality, na ktorom je možné vykonať určité pozorovania (merania) za účelom poznania relácií v ňom prebiehajúcich, prípadne na ktorom možno realizovať isté experimenty (nie je nevyhnutnou podmienkou) [5].

S tým je spojený aj pojem modelovanie. Modelovanie predstavuje experimentálny proces, pri ktorom originálu – reálnemu objektu, podľa jednoznačne určených kritérií, priradzujeme fyzický alebo abstraktný model. Je to stará metóda, ktorá prešla z jednoduchého napodobovania prírodných javov k modelovaniu geometrickej podobnosti.

Originálnemu objektu môžeme priradiť model abstraktný čiže model matematický. Matematický model neumožňuje robiť experimenty fyzikálnej podstaty, ale umožňuje nám popis na origináli pomocou priebehu matematického popisu. Pomocou matematického modelu môžeme skúmať priebehy sledovaných fyzikálnych veličín. V práci [9] je podrobnejšie rozobratý matematický model, ktorý je použitý na schému odpruženia automobilu.

Ak je výstup systému jednoznačne definovaný iba vstupom systému,

$$y = f(u), \quad (1)$$

nazývame takýto systém statický. Tento systém je popísaný iba statickou charakteristikou, vyjadrujúca závislosť výstupu na hodnotách vstupu.

Ak systém nie je jednoznačne určený iba vstupmi, ale závisí takisto na čase, jedná sa o dynamický systém. Ten je popísaný pomocou vektorovej stavovej rovnice. Statická charakteristika dynamického systému vyjadruje závislosť ustálených hodnôt výstupu na ustálených hodnotách vstupu systému. Ak systém nemení v čase vlastnosti, parametre modelu sú konštantné, jedná sa o systém stacionárny (t-invariantný). Ak systém mení vlastnosti v čase, jedná sa o systém nestacionárny (t-variantný), viac v práci [9].

1.1 Rozdielne prístupy k identifikácii systémov

Predmetom experimentálnej identifikácie je vyšetrenie dynamických vlastností systému a stanovenie matematického modelu experimentálnym postupom. Experimentálna identifikácia zažila značný rozvoj v posledných rokoch, často sa nazýva už len identifikácia systémov. Analytická identifikácia sa dnes označuje ako dynamika procesov [3].

Oba prístupy sa dajú vzájomne kombinovať v technickej praxi ako kombinovaný prístup (Gray box).

1.1.1 Analytická identifikácia (White box)

Štruktúra analytickej identifikácie vyplýva z fyzikálnych zákonov. Systém je popísaný pomocou vnútorných stavových premenných a vstupno-výstupného chovania. Parametre modelu sú funkcie systémových veličín, ktoré majú fyzikálny význam. Model platí pre celú triedu procesov. Takisto sa dá vytvoriť pre neexistujúci systém. Dôležité vnútorné procesy systému musia byť známe, matematicky opísateľné. Tvorba modelu predstavuje opakovanú aplikáciu fyzikálnych zákonov. Z týchto podmienok jasne vyplýva negatívum veľkej časovej náročnosti na výpočet, takisto nevýhodou je hlboká znalosť fyzikálnych procesov. Preto sa rozvíjajú najviac v odvetviach, kde majú silné priemyselné zázemie.

1.1.2 Experimentálna identifikácia (Black box)

Štruktúra musí byť zvolená. Systém je popísaný iba pomocou vstup - výstup. Parametre modelu sú analytické premenné, ktoré neumožňujú väčšinou nájsť súvislosť s fyzikálnymi systémovými premennými. Platí to iba pre skúmaný proces a konkrétny prevádzkový stav, z čoho zase vyplýva relatívna presnosť. Model môže byť identifikovaný iba pre existujúci systém. Vnútorné procesy nemusia byť známe. Metódy sú nezávislé na jednotlivých systémoch, programové vybavenie môže byť použité pre identifikáciu rôznych systémov. Veľkou výhodou je menšia časová náročnosť. Nevýhodou sú náklady pre potrebné prístrojové vybavenie a experimentovanie [9].

1.2 Pojmy používané v experimentálnej identifikácii

Experimentálna systémová identifikácia vychádza zo súboru dát nameraných veličín, ktoré sú k dispozícii. Veličiny, ktoré sa nedajú namerať alebo sú nemerateľné sú zahrnuté v predpokladaných šumoch.

Celý súbor sa následne rozdelí, pričom prvá časť sa použije na vytvorenie(odhadnutie) modelu, jedná sa o pracovné dáta. Druhá časť dát(validačné dáta) sa použije na kontrolu odhadovaného modelu. Validácia sa vykoná simulovaním modelu, porovnaním jednotlivých výstupov, to znamená reálneho nameraného výstupu a simulovaného výstupu modelu. Proces sa opakuje do vtedy, kým nedosiahneme požadovanú istotu modelu. Je to subjektívna úloha, ktorá zahŕňa všetky vlastnosti modelu. Požadujeme schopnosť modelu reprodukovat' správanie validačných dát.

Charakteristiky modelu, sú rôzne cesty ku kontrole vlastností modelov, ako sú póly a nuly, tiež prechodová alebo frekvenčná charakteristika.

Dôležitým pojmom je štruktúra modelu, užívateľ si musí zadať štruktúru modelu, ktorú chce identifikovať. Algoritmus identifikácie potom hľadá pre definovanú štruktúru „najlepšie“ odhady týchto parametrov. Modelové štruktúry sú skupiny modelov s nastaviteľnými parametrami. Odhad parametrov je proces hľadania vhodných hodnôt s nastaviteľnými parametrami. Problém systémovej identifikácie je nájsť štruktúru modelu a vhodné prislúchajúce hodnoty parametrov modelu.

Parametrické identifikačné metódy sú techniky odhadu parametrov s danou štruktúrou. Je to prípad používania numerického hľadania na nájdenie číselných hodnôt parametrov, ktoré nám dávajú najlepšiu zhodu s nameraným výstupom a modelovým výstupom.

Neparametrické identifikačné metódy sú techniky odhadu správania modelu bez nevyhnutných parametrov modelu. Typickou metódou je korelačná analýza, ktorá odhaduje impulzovú odozvu a spektrálna analýza, ktorá odhaduje frekvenčnú odozvu [1].

2 ROZDELENIE IDENTIFIKAČNÝCH METÓD

Budeme sa zaoberať experimentálnou identifikáciou modelov.

2.1 Matematické modely

a) parametrické modely

Popísané diferenciálnymi rovnicami, diferenčnými rovnicami, prenosmi. Obsahujú teda explicitné parametre modelu.

b) neparametrické modely

Funkčná závislosť medzi vstupom a výstupom vyjadrenú najčastejšie graficky pomocou merania odozvy systému, pomocou tabuľky závislostí. Parametre sú implicitné, získame ich až vyhodnotením neparametrických modelov.

2.2 Matematický aparát

a) deterministické metódy

Spôsoby vyhodnotenia špeciálnych signálov a numerické metódy výpočtu konvolučného integrálu. Pri tejto metóde predpokladáme, že vstupná veličina je deterministický signál, preto neuvažujeme pôsobenie náhodných veličín.

Medzi užitočné signály patria: jednotkový skok, harmonický signál a všeobecný deterministický signál.

Jasnou nevýhodou týchto signálov je aktívny experiment, čiže experiment mimo bežnej prevádzky. Táto metóda nestráca na význame ani dnes, slúži najmä pri prvotnej identifikácii (orientačné určenie zosilnenia a časových konštánt).

b) stochastické metódy

Numerické riešenie Wiener-Hopfovej rovnice, štatistické metódy, ktoré vychádzajú z metódy najmenších štvorcov (prípadne modifikácie), metódy maximálnej vierohodnosti a z Bayesovho prístupu. Štatistické metódy predpokladajú určité vlastnosti náhodných porúch, každá vyžaduje inú mieru znalostí o ich vlastnostiach [5].

2.3 Vyhodnotenie dát

a) offline identifikácia

Dáta sú najskôr zaznamenané, uchované na neskoršie spracovanie. Neskôr sú vyhodnotené a určené ako parametre modelu.

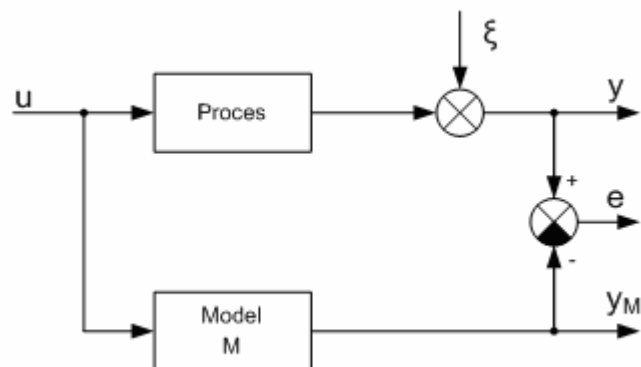
b) online identifikácia

Predpokladá priame pripojenie počítača k identifikovanému procesu, parametre sú priamo vyhodnocované.

2.4 Vyhodnotenie kvality modelu

Identifikačné metódy často vychádzajú z minimalizácie funkcionálu, ktorý vyhodnocuje chybu získaného modelu. Uplatňujú sa hlavne kvadratické kritéria. Chybu modelu môžeme popísať:

a) chyba výstupu

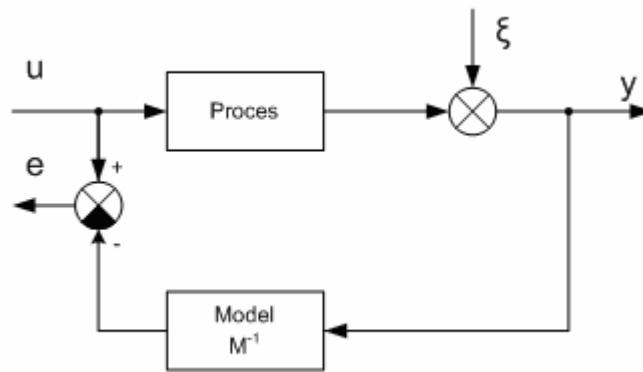


Obr. 1. Blokova schéma pre chybu výstupu

Chyba výstupu, kedy vytvárame odchýlku medzi výstupmi paralelne zapojeného objektu a modelu (Obr. 1). Vektor ξ zahŕňa merateľné aj nemerateľné poruchy. Chyba je

$$e = y - y_M = y - M(u) \quad (2)$$

b) chyba vstupu



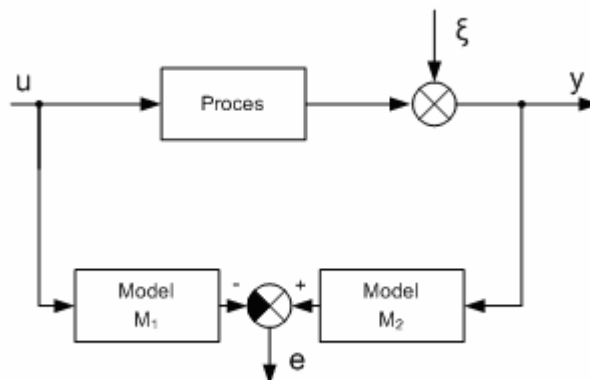
Obr. 2. Bloková schéma pre chybu vstupu

Chyba vstupu, kedy vytvárame odchýlku na strane vstupných signálov modelu a objektu v sériovom zapojení (Obr. 2). Chyba je daná ako

$$e = u - M^{-1}(y) \quad (3)$$

Samozrejme, M^{-1} je inverzný operátor a teda M musí byť invertovateľný.

c) zobecnená chyba(chyba rovnice)



Obr. 3. Bloková schéma pre zobecnenú chybu

Zobecnená chyba: vo všeobecnejšom prípade môže byť chyba definovaná ako

$$e = M_2^{-1}(y) - M_1(u) \quad (4)$$

kde M_2 predstavuje invertovateľnú časť modelu. Chyba je priamo generovaná zo vstupno-výstupného opisu ako nesúlad medzi ľavou a pravou stranou schémy (Obr. 3). Súhlasí s [9] a [5].

2.5 Algoritmy spracovania dát

Namerané dáta je možné spracovať v dávkach (jednorázovo) alebo v reálnom čase (priebežne). K offline identifikácii zaraďujeme dávkové spracovanie. Na rozdiel priebežné spracovanie patrí online detekcii. Ak identifikáciu prevádzame priebežne v čase hovoríme o priebežnej identifikácii.

- a) nerekurzívne algoritmy

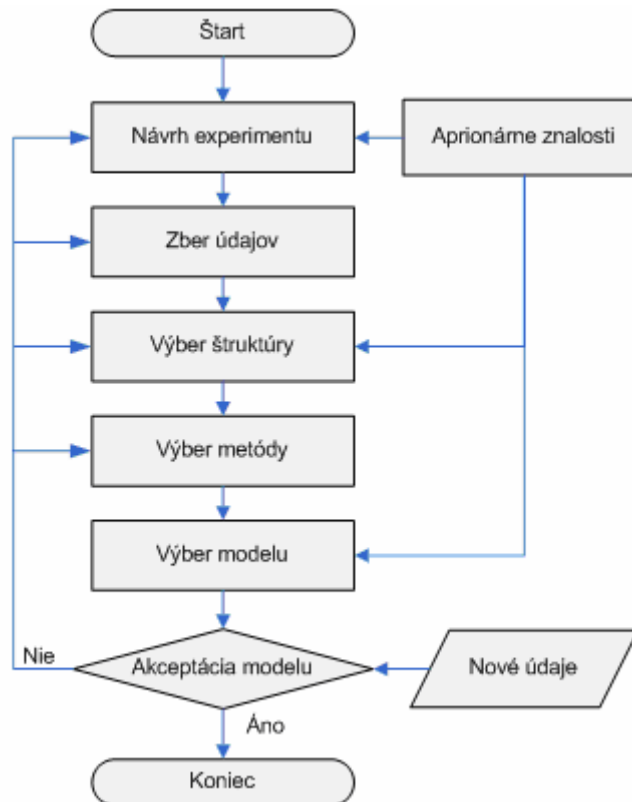
Vyhodnocujú model z celého meraného súboru, sú používané pri dávkovom spracovaní.

- b) rekurzívne algoritmy

Pracujú priebežne a dáta sú priebežne dopĺňané. Vyhodnotenie modelu prebieha po každom meraní, model je stále spresňovaný pomocou nových hodnôt.

3 POSTUP PRI IDENTIFIKÁCIÍ

Pri identifikácii sa postupuje po viacerých etapách.



Obr. 4. Schematický diagram postupu EI, zdroj [5]

Dôležité kroky v tomto postupe:

- Navrhne štruktúru matematického modelu. Používa sa zvyčajne deduktívna metóda. Na základe vopred stanovených informácií, či už fyzikálnych alebo iných zákonitostí s použitím teórie systémov vyformujeme štruktúru
- Niektoré základné informácie môžu byť výsledkom experimentu, s použitím inej identifikačnej metódy. Napr. na základe nameranej prechodovej charakteristiky sa dá usúdiť rád systému. Presnejšie hodnoty parametrov tejto štruktúry potom určíme inou identifikačnou metódou.
- Pre určitú množinu vstupov a výstupov môže platiť navrhnutá štruktúra, no pre inú množinu je niekedy treba štruktúru zmeniť.
- Z Obr. 4 vyplýva, že celý postup sa môže niekedy opakovať. Najčastejšie dôvody neprijatia modelu sú numerické problémy nájdenia modelu vzhľadom na kritériá:

nevhodne zadané kritérium, nesprávna množina modelov a nedostatočne „informatívna“ množina údajov.

3.1 Dôležité otázky verifikácie modelu

Dôvod získania modelu – pýtame sa či je model vhodný na riešenie problému. Môže byť nákladné, nebezpečné alebo neuskutočiteľné vyskúšať všetky modely, preto treba vhodne voliť metódy.

Fyzikálny význam parametrov – je to prirodzená a dôležitá podmienka, aby mali parametre fyzikálnu podstatu.

Správanie sa modelu – sú dôležité vstupno-výstupné vlastnosti systému, lineárne modely znázorníme pomocou Bodeho diagramov a nelineárne systémy simuláciou. Je odporúčané porovnať lineárne modely Bodeho diagramom.

Redukcia modelu – je dôležitá súčasť identifikácie, pretože ak jednoduchší model ponúka rovnaké vstupno-výstupné vlastnosti, tak je zložitejší model zbytočný.

Intervalové odhady parametrov – ak je v ich odhade parametru zahrnutá nula, môžeme uvažovať o anulovaní tejto hodnoty [5].

3.2 Identifikačná výdatnosť

Pre to, aby sme zaručili správne odhadnutie parametrov systému potrebujeme vhodný vstupný signál, preto sa používa pojem identifikačnej výdatnosti.

Definícia: Signál $u(t)$ je identifikačne výdatný ak

1. existuje limita

$$R_{uu}(\tau) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N u(t+\tau)u(t) \quad (5)$$

2. matica

$$R_u(n) = \begin{pmatrix} R_{uu}(0) & \dots & R_{uu}(n-1) \\ R_{uu}(1) & \ddots & R_{uu}(n-2) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{uu}(n-1) & \dots & R_{uu}(0) \end{pmatrix} \quad (6)$$

je pozitívne definitná.

Ak $u(t)$ uvažujeme ako biely šum s nulovou strednou hodnotou a rozptylom σ^2 , potom $R_u(n) = \sigma^2 I_n$, ktorá je vždy pozitívne definitná. Platí, že biely šum je v tomto prípade identifikačne výdatný ľubovoľného rádu. Viac v práci [5].

4 VSTUPNÉ SIGNÁLY

Môžeme deliť z rozličných pohľadov. Rozlišujeme prirodzené, prevádzkové signály, ktoré pozorujeme v priebehu prevádzky (pasívny experiment) a umelo vytvorené vstupné signály (aktívny experiment).

4.1 Deterministické vstupné signály

Ich priebeh je v čase známy, hodnoty môžeme určiť pre každý časový okamih.

Tieto signály ďalej delíme na periodické a neperiodické.

Pri stanovovaní vhodného deterministického signálu je treba brať do úvahy, aby vstupný signál vybudil identifikovaný systém v celom možnom frekvenčnom rozsahu, takisto je tu snaha o ľahkú realizovateľnosť vstupných hodnôt. Jednoducho môžeme signál popísaný priebehom $f(t)$ pomocou Laplaceovej transformácie určiť ako obraz $F(s)$. Substitúciou $s=j\omega$ dostať spektrum signálu $F(j\omega)$,

$$F(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)} \quad (7)$$

Z priebehu amplitúdy $A(\omega)$ v závislosti na frekvencii ω môžeme posúdiť vhodnosť signálu, čo nám môže pomôcť v predstave.

- Heavisideov skok je definovaný ako:

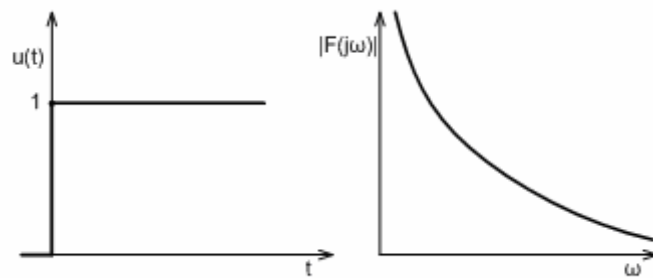
$$u(t) = A \cdot \eta(t)$$

$$u(t) = 0 \quad \text{pre } t < 0$$

$$u(t) = A \quad \text{pre } t \geq 0$$

Spektrum heavisideovho skoku:

$$F(j\omega) = \frac{A}{j\omega}$$



Obr. 5. Heavisideov signál a jeho spektrum

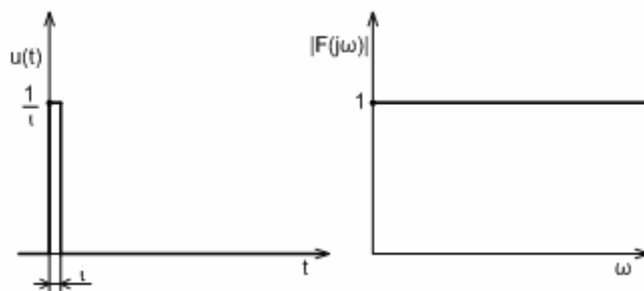
- Jednotkový impulz je definovaný:

$$\delta(t) = \frac{1}{\tau} \quad \text{pre } 0 \leq t \leq \tau$$

$$\delta(t) = 0 \quad \text{pre } \tau \leq t \leq \infty$$

Spektrum jednotkového impulzu:

$$F(j\omega) = 1$$



Obr. 6. Jednotkový signál so spektrom

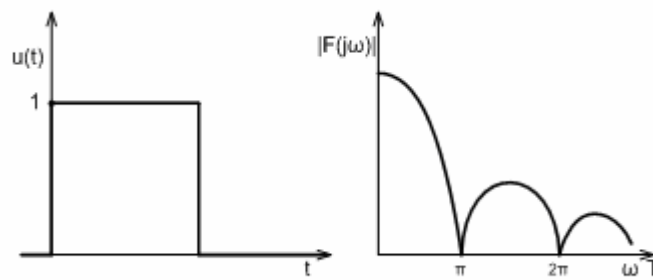
- Pravoúhlý impulz je charakterizovaný:

$$u(t) = 1 \quad \text{pre } 0 \leq t \leq T$$

$$u(t) = 0 \quad \text{pre } T \leq t \leq \infty$$

Spektrum pravoúhlého impulzu:

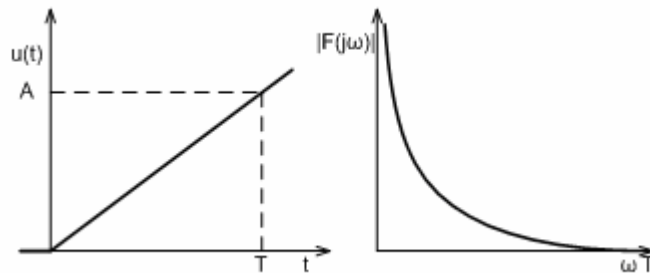
$$F(j\omega) = \frac{1}{j\omega} (e^{-j\omega T} - 1)$$



Obr. 7. Pravoúhlý signál a jeho spektrum

- Skok rychlosti (spektrum):

$$|F(j\omega)| = \frac{A}{\omega^2 T}$$

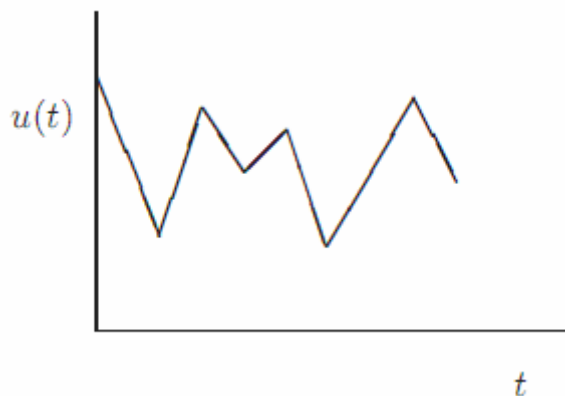


Obr. 8. Skok rychlosti so spektrom

4.2 Náhodné signály

Ich priebehy v čase sú náhodné funkcie času, určujeme len ich štatistické charakteristiky.

Delíme ich na nestacionárne a stacionárne, pričom stacionárne delíme ďalej na ergodické a neergodické.



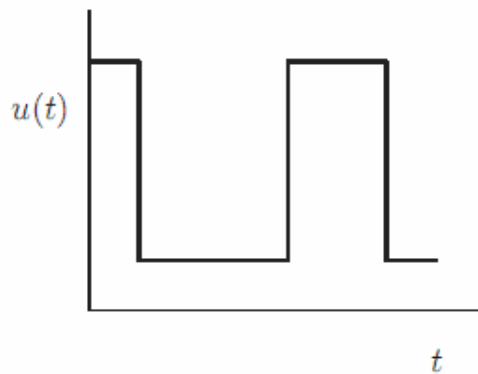
Obr. 9. Náhodný vstup

4.3 Pseudonáhodné signály

Priebeh v čase je známy, v rámci jednej periódy majú charakter známeho náhodného procesu, ktorý sa periodicky opakuje.

Ich použitie umožňuje realizáciu aktívneho identifikačného experimentu.

Deliť ich môžeme na dvojhodnotové a viachodnotové.



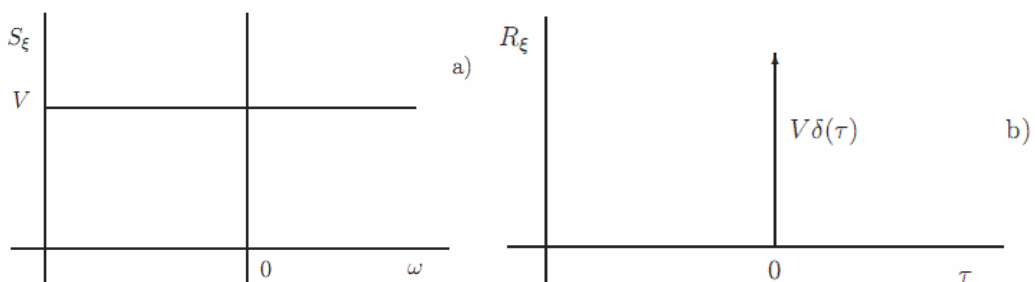
Obr. 10. Pseudonáhodný binárny signál, zdroj [5]

4.4 Biely šum

Majme stacionárny náhodný proces, pre ktorý platí, že pre všetky frekvencie má rovnakú hodnotu výkonovej spektrálnej hustoty, t.j.

$$S_{\xi}(\omega) = V \quad (8)$$

Takýto proces má „biele“ spektrum a nazýva sa biely šum, je konštantný pre všetky uhlové frekvencie, takisto ako u bieleho svetla, odkiaľ pochádza tento názov. Výkonová spektrálna hustota bieleho šumu je znázornená na Obr. 11a .



Obr. 11. Výkonová spektrálna hustota a autokorelačná funkcia bieleho šumu

$$E\{\xi(t^2)\} = R_\xi(0) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty S_\xi(\omega) d\omega = \frac{1}{\pi} V \int_0^\infty d\omega = \infty \quad (9)$$

Z rovnice vyplývá, že priemerný výkon bieleho šumu je nekonečný, pretože platí rovnica (9).

Vzhľadom k tejto vlastnosti je treba dodať, že biely šum je fyzikálne nerealizovateľný. Predstavuje ideálny šum s nekonečne veľkým stredným výkonom.

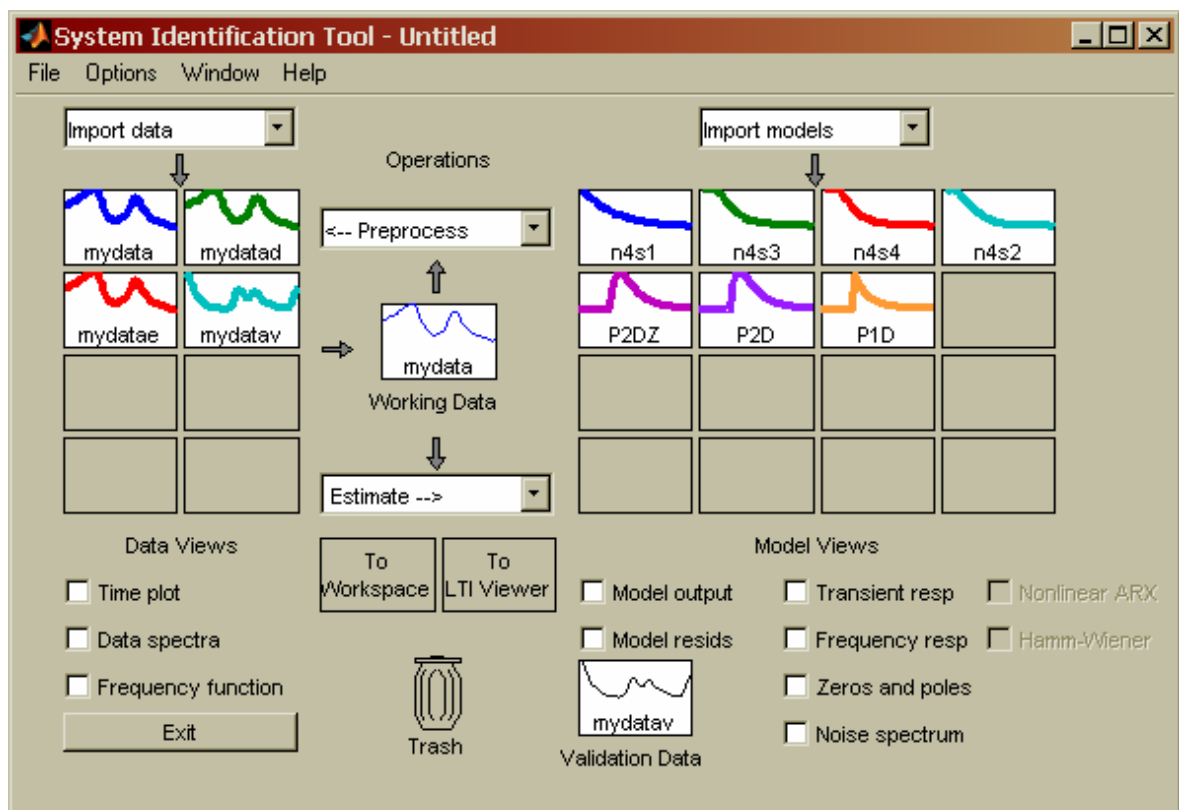
V praktických aplikáciách použitie bieleho šumu

Jeho použitie v praktických aplikáciách znamená využitie bieleho šumu v rozsahu dôležitých frekvencií v súvislosti s identifikovaným systémom. Pomocou vhodných filtrov ide vytvoriť z tohto šumu širokopásmový „biely“ šum (s konečným výkonom).

II. PRAKTICKÁ ČASŤ

5 POPIS PROSTREDIA TOOLBOXU

System identification toolbox sa nachádza v programovom balíku Matlab. Nie je však základne zahrnutý, preto príkazom „ver“ môžete zobrazit' všetky dostupné toolboxy. V tejto práci sa pracovalo s verziou 7.3.1 a 6.1.2. Pre praktické použitie je najvhodnejšie použitie Grafického užívateľského prostredia (Obr. 12). Prostredie je možné plne ovládať z príkazového riadku Matlab. V najnovšej verzii máme dostupných takisto 12 blokov pre Simulink.



Obr. 12. Grafické užívateľské prostredie

V menu ponuke „File“ máme možnosť „Merge session“, pridať už existujúci identifikačný projekt. V staršej verzii je možnosť len otvoriť projekt. Nasleduje voľba zatvorenia projektu, prípadne jeho uloženia. Môžeme takisto otvoriť posledné 4 práce.

V položke „Options“ je možnosť pridania prídavných políček dát a modelov. Zobrazenie a vypnutie varovaní, prípadne vyprázdnenie koša, pretože dáta z koša sa dajú navrátiť prípadným dvojklikom, čo je vynikajúca funkcia pri dlhšej práci s projektom. Ponúka sa možnosť uloženia a znovunastavenia pôvodných nastavení.

Všetky otvorené okná GUI sú vidieť v položke „Window“.

Pri práci s predloženými príkladmi sa dá toto prostredie ľahko naučiť. Schematicky sa okno delí na časť dát, časť modelov a časť pracovných.

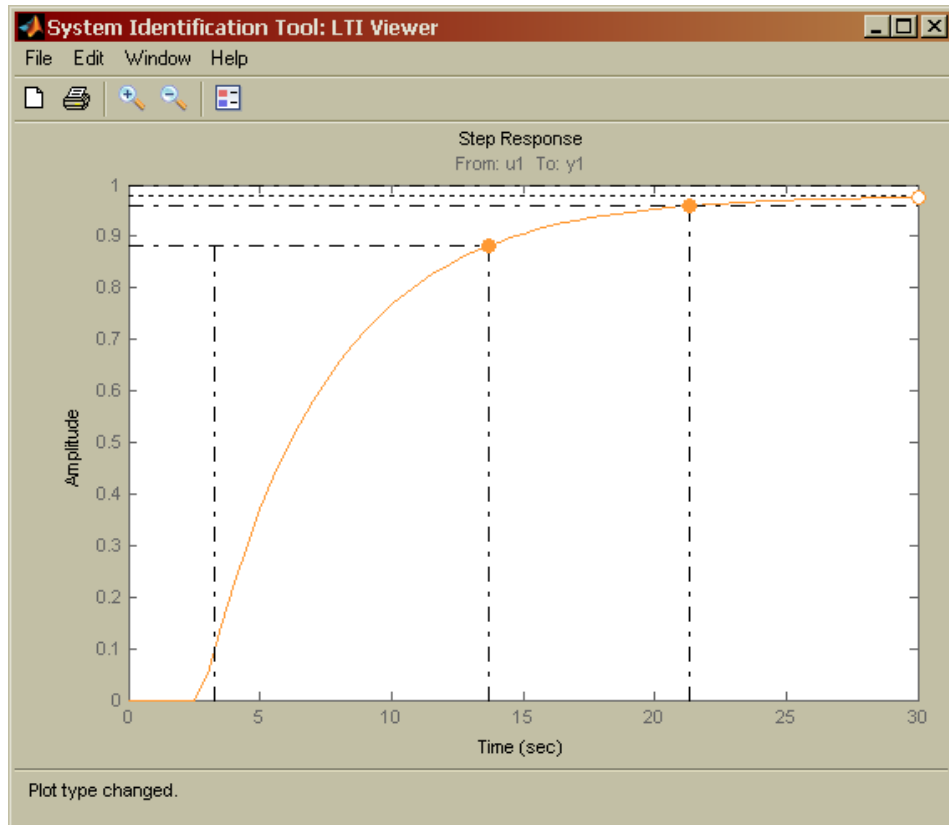
Naľavo sa nachádza časť dát, do ktorej môžeme importovať výber pomocou časovej oblasti, frekvenčnej oblasti, takisto vložiť ako objekt alebo ukázkový príklad fény. Nižšie zobrazená možnosť „Time plot“ pomôže pri ukázaní časového priebehu, spektrum údajov sa dá zobraziť pomocou „Data spectra“ a frekvenčná charakteristika použitím „Frequency function“.

Pri pohľade na pravú stranu Obr. 12 vidíme časť modelov, v ktorej sa dajú takisto importovať modely s prostredia Matlab, napr. pre porovnanie modelu z iného identifikačného odhadu. Pre zobrazenie modelov slúži prechodová charakteristika (Transient response), frekvenčná charakteristika (Frequency response), mapa pólov a núl (Zeros and poles) a spektrum šumu modelu (Noise spectrum).

Medzi najdôležitejšie funkcie patrí „Model output“, ktorý porovnáva validačné údaje so simulovanými dátami odhadovaného modelu, vyjadrené grafickým a percentuálnym porovnaním. „Model resids“ znamená reziduálnu charakteristiku s 99% intervalom spoľahlivosti.

Pri projekte je tiež treba určiť, ktoré údaje sú na odhadovanie a validáciu. Primárne sú použité prvé dáta, preto je potreba presunúť tieto hodnoty do pracovnej (Working Data) a validačnej (Validation Data) kolónky.

V strede GUI sa nachádza kolónka „To workspace“ a „To LTI viewer“. Sú to veľmi užitočné funkcie. Prvá nám presunie model do Matlab prostredia, v ktorom môžeme model ľahko využívať v Control system toolbox, druhá ho odošle do okna grafickej analýzy (je možné si vybrať s viacerých charakteristík, ukážka Obr. 13).

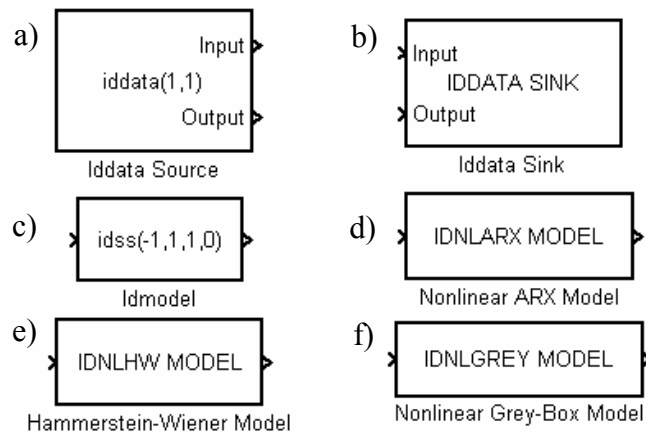


Obr. 13. Ukážka charakteristiky modelu v LTI viewer

Na ukážke je zobrazená prenosová charakteristika s vyznačenými charakteristickými bodmi. Jedná sa o systém prvého rádu a prvého relatívneho rádu s dopravným oneskorením určený diskretným PEM odhadom transformovaný na spojitú prenosovú funkciu.

5.1 Implementácia toolboxu v Simulinku

SIT ponúka okrem grafického rozhrania aj prácu v Simulinku. V novej verzii nám ponúka celkom 12 blokov pre použitie do blokových schém. Ich použitie, hlavne nastavenie nie je jednoduché a viac menej vyžaduje použitie príkazov z príkazového riadku Matlab.

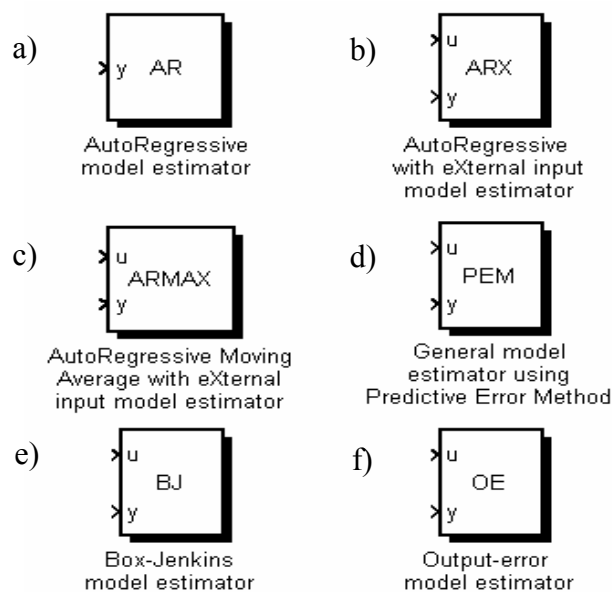


Obr. 14. Bloky SIT v Simulinku

Základnými blokmi sú zdroj identifikácie (Obr. 14a), v ktorom zadávame len výstupnú a vstupnú funkciu. Opačne pracuje výstup identifikácie (Obr. 14b), ktorý potrebuje vzorkovaciu frekvenciu a názov premennej, do ktorej sa zapíše objekt identifikácie.

V prípade „idss“ objektu (Obr. 14c) zadávame tak isto ako do príkazového riadku Matlab štyri stavové matice, prípadne sa dá zvoliť akýkoľvek objekt SIT. Základné nastavenie je s pridaným šumom.

Nasledujú bloky nelineárneho ARX modelu (Obr. 14d), Hammerstein-Wiener modelu (Obr. 14e) a nelineárnej kombinovanej identifikácie (Obr. 14f), ktoré vyžadujú hlbšiu znalosť identifikácie.



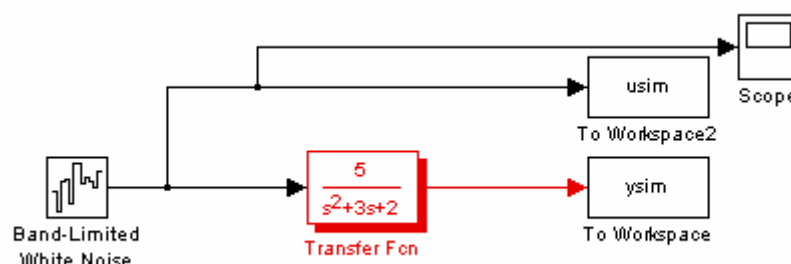
Obr. 15. Identifikačné bloky SIT v Simulinku

Dôležitejšie sú identifikačné bloky, ktoré zastupujú metódy diskretného výpočtu odhadu modelov. Všetky spočiatku vyžadujú zadanie názvu modelu, aktualizovanie vzorky 25 a vzorkovanie 0.05. Blok auto regresívneho odhadu (AR) pre skalárny signál (Obr. 15a) má preddefinovaný tretí rád. Auto regresívny odhad s vonkajším vstupom (ARX) na Obr. 15b základne používa 2 spoločné póly, 2 nuly a oneskorenie. ARX s pohyblivým priemerom (ARMAX) pridáva výpočet vstupného šumu (Obr. 15c). Box-Jenkins model a blok výstupnej chyby (OE) sú na Obr. 15e a Obr.15f.

Hlavný blok pre odhad diskretného mnohočlenného SISO modelu (PEM (Obr. 15d)) obsahuje rozmery matíc A,B,C,D a šumového modelu.

5.2 Základný postup použitia SIT

Jednoduchý prípad použitia SIT si ukážeme na príklade otvoreného obvodu. Ako zdroj signálu použijeme ohraničený biely šum, ktorý bude poskytovať dostatočnú identifikačnú výdatnosť. Pre simuláciu aplikujeme stabilný systém s dvomi pólmi a zosilnením päť podľa Obr. 16. Dáta budeme používať offline, jedná sa o offline identifikáciu. Zo zapojenia je jasné, že vstupný signál bude umelý, teda bude mimo prevádzky a bude použitý na identifikáciu sústavy, pretože nastávajú prípady, kedy signály v prevádzke neposkytujú vhodné frekvenčné spektrum. Simulink model sa nachádza v prílohách (P I). Nastavíme Matlab do adresára s modelom a spustíme príkazom „zaklobvod“.



Obr. 16. Schéma zdroja jednoduchovej identifikácie

Spustením simulácie dostaneme vstupné a výstupné údaje. Perióda vzorkovania na konečných blokoch je zvolená 0.5s. Ďalší postup je popísaný v ukázkových príkladoch, v príkazovom riadku Matlab použijeme „ident“ pre GUI.

5.2.1 Vloženie dát do GUI

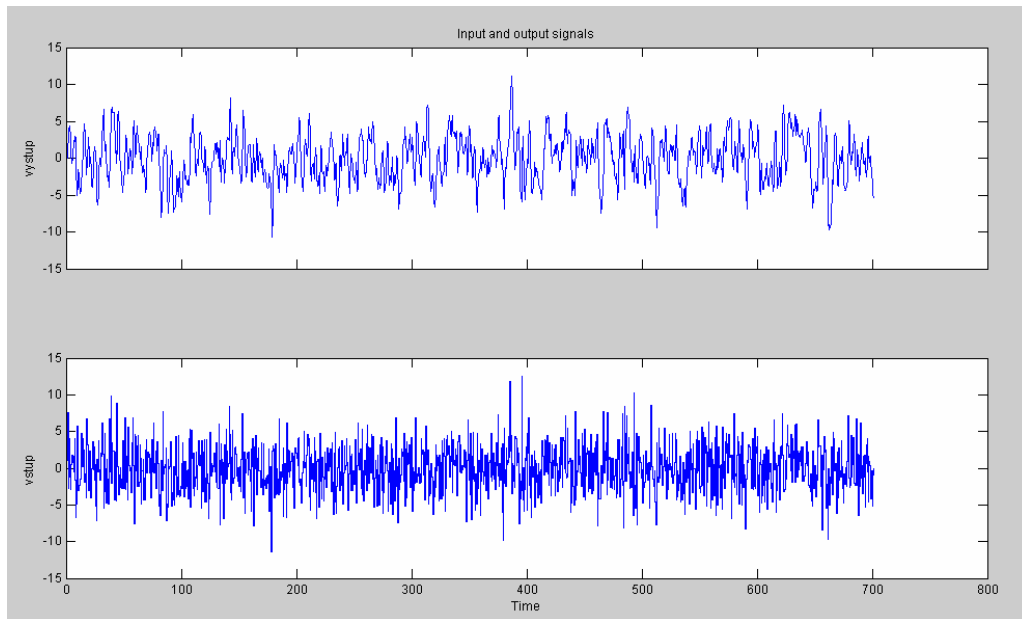
Pomocou tlačidla „Import data“ zvolíme údaje v časovej oblasti. Objaví sa nám ponuka, ktorú rozšírime položkou „More“ (Obr. 17).

Obr. 17. Import údajov GUI

Vložíme vstup „usim“ a výstup „ysim“. Hodnoty sme dostali simuláciou, vzorkovacia frekvencia je v tomto prípade 0.5. Môžeme takisto v pravej strane okna zadať názvy a jednotky vstupov, prípadne výstupov. V „Data name“ meníme názov údajov. Importujeme dáta do prostredia, pri prípadných nejasnostiach sú podrobnosti zaznamenané v prvom ukážkovom príklade.

5.2.2 Zobrazenie grafického priebehu nameraných dát

Jednoducho sa dá pokračovať v importovaní ďalších dát. V hlavnom okne zvolíme položku „Time plot“, ktorá ukáže grafický priebeh dát (Obr. 18). Týmto spôsobom sa dajú nájsť poruchy v meraní, ktoré by mohli ovplyvniť identifikáciu modelu. Graf sa dá ľubovoľne približovať, ľavým a pravým tlačidlom sa ovláda približovanie, dvojklikom zobrazíme celý graf.



Obr. 18. Grafický priebeh simulovaného vstupu a výstupu

Zobraziť môžeme jednoducho aj spektrum dát (Data spectra), pre kontrolu použiteľnosti údajov.

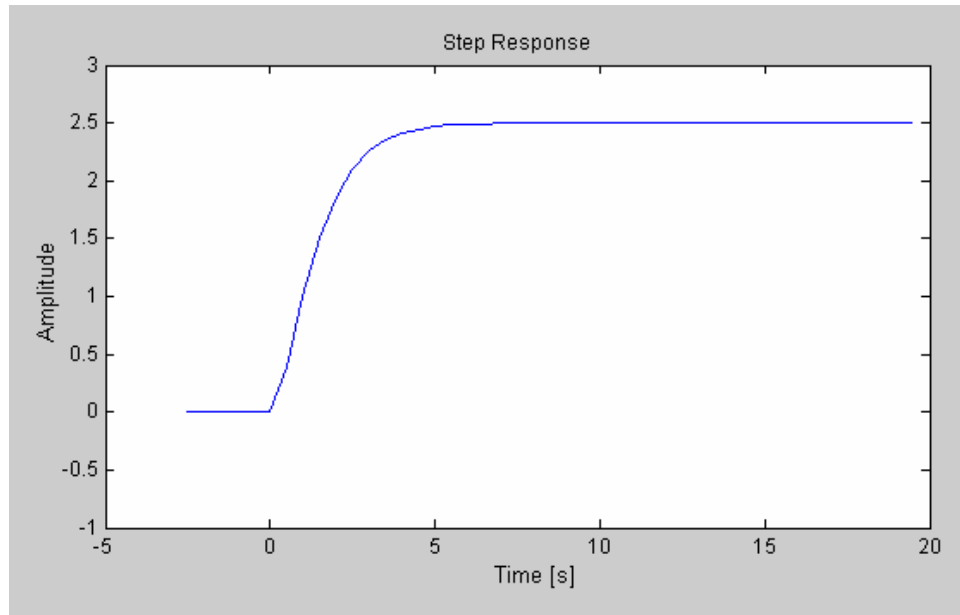
5.2.3 Určenie údajov na odhadovanie a validáciu

Klasickým postupom je rozdeliť hodnoty. V položke „Preprocess“ zvolíme rozsah „Select range“. Graficky určíme časť dát alebo jednoducho zvolíme čas od 1 do 350 sekúnd. Vložíme a položkou „Revert“ vrátime nastavenie a znova zvolíme čas od 350 do 701 sekúnd, tieto hodnoty budú slúžiť na validáciu dát. Po vložení jednoducho kliknutím na ikonku dát vyberáme hodnoty, ktoré sa ukazujú v jednotlivých grafoch.

Jednoduchým presunutím prvej časti dát do oblasti „Working data“ určíme oblasť pre výpočet modelu. Takisto potrebujeme určiť validačné údaje, druhú časť preniesieme do časti „Validation data“.

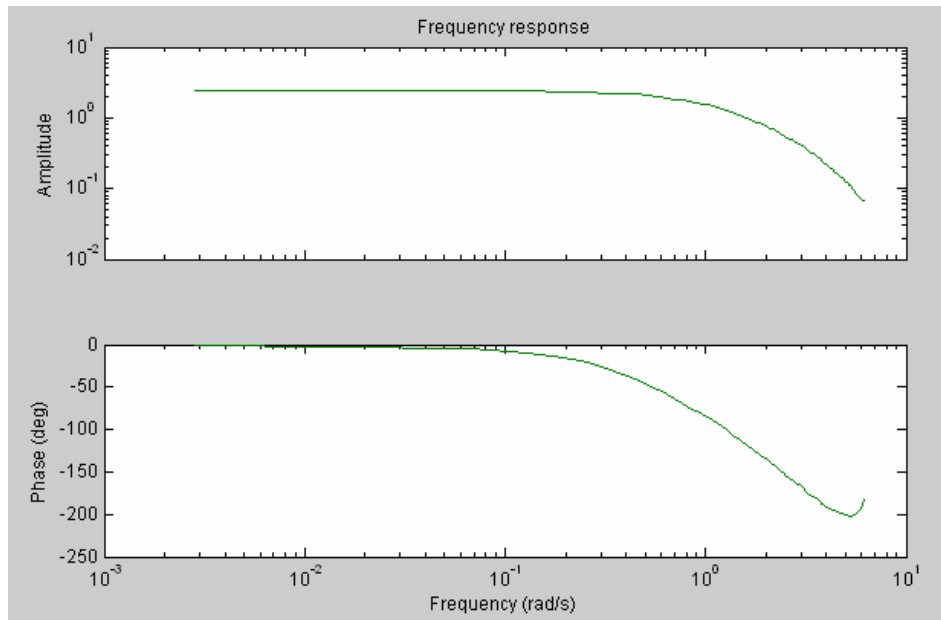
5.2.4 Odhad modelu, určenie štruktúry

Pre určenie prechodovej charakteristiky z hodnôt použijeme „Estimate“ a položku „Correlation model“. Po vložení modelu graf zobrazíme v hlavnom okne označením „Transient resp“, dostaneme Obr. 19. V položke vlastností sa dá zmeniť zobrazenie aj na impulznú charakteristiku. Popisy grafu Obr. 19 sú výsledkom korektúry autora.



Obr. 19. Prechodová charakteristika simulovaných hodnôt

Pre odhad frekvenčného modelu zvolíme „Estimate“ a položku „Spectral model“. Použijeme prednastavené hodnoty a importujeme model. Graf zobrazíme jednoducho „Frequency resp“, ukážka je na Obr. 20. Nastavenia grafu sa menia v položke „Style“.



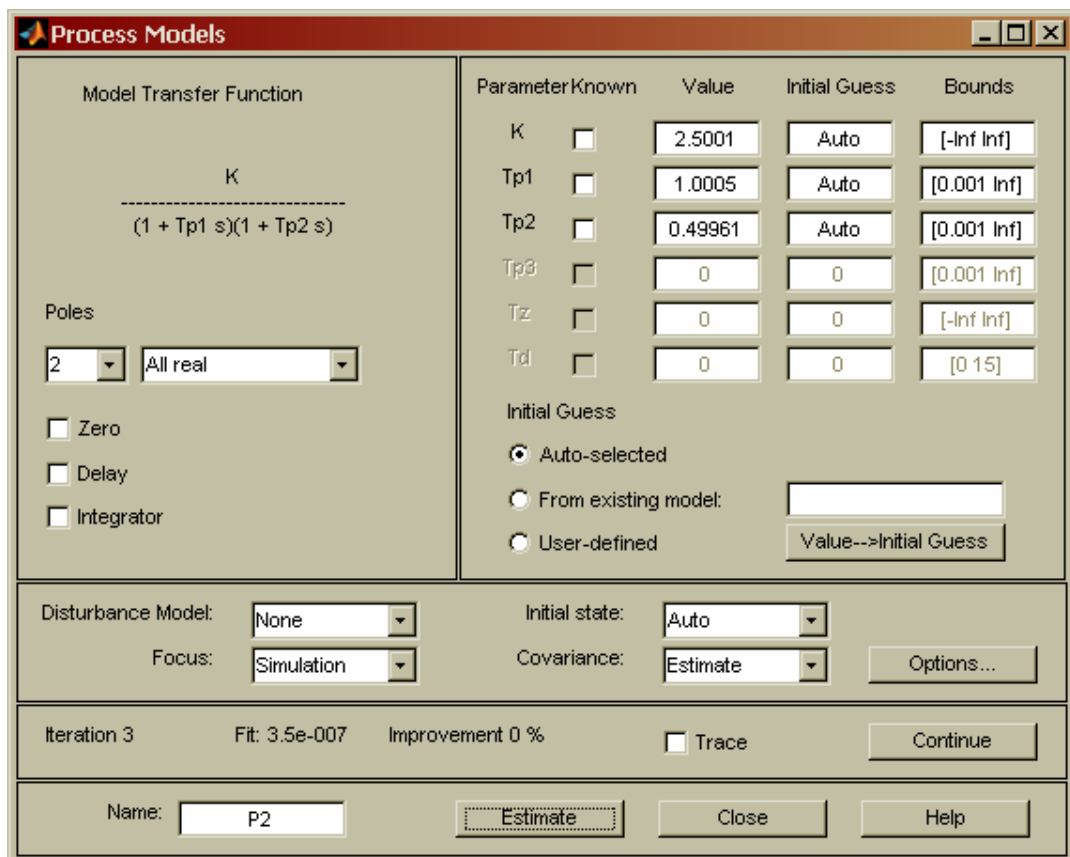
Obr. 20. Frekvenčná charakteristika simulovaných hodnôt

Začneme určením modelu pomocou prenosovej funkcie. Z položky „Estimate“ vyberieme „Process model“. Tento model je počítaný pomocou diskkrétnej PEM metódy.

V položke „Model transfer function“ je zobrazená štruktúra modelu podľa Obr. 21. Primárne je zvolený prenos s jedným pódom, konštantným zosilnením a dopravným

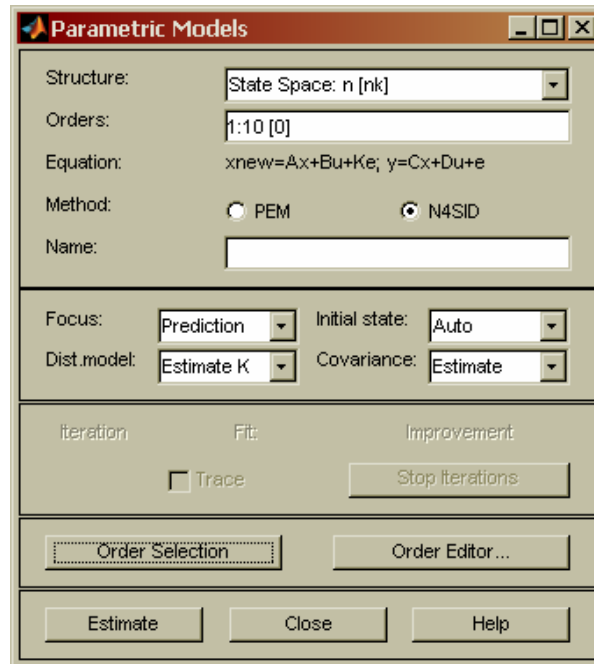
oneskorením. V našom prípade štruktúru poznáme, preto zvolíme prenos bez nuly, oneskorenia a integračnej zložky. Zvolíme len dva reálne póly, t.j. „Poles“ prepne na dva. Všimneme si ďalšie možnosti v pravej strane okna, kde po odškrtnutí môžeme zvoliť známy parameter v položke „Value“. Pri vytvorení modelu z našej simulácie prebehnú tri iterácie, avšak dá sa pokračovať možnosťou „Continue“, prípadne zobrazit' výpočet v príkazovom riadku Matlab potvrdením „Trace“.

Názov modelu je generovaný automaticky, podľa zvolenej štruktúry, preto názov obyčajne netreba meniť. Pri neznámej štruktúre je najlepšie skúsiť viac modelov a výsledky porovnať pri validácii údajov.



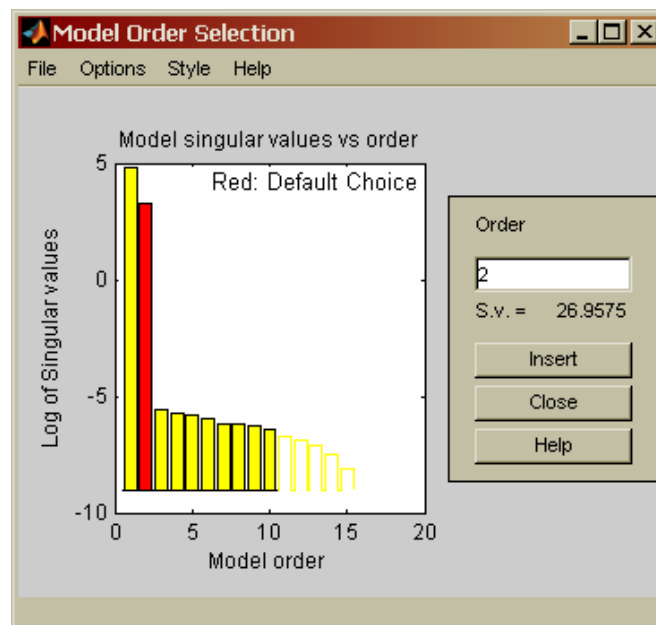
Obr. 21. Určenie prenosovej funkcie v GUI

Takisto môžeme skúsiť stavový popis v hlavnom okne pomocou „Estimate“ a voľby „Parametric models“. Zmeníme z položky „Structure“ ARX štruktúru na State Space(stavový priestor), ako je použité na Obr. 22.



Obr. 22. Zvolenie parametrického modelu

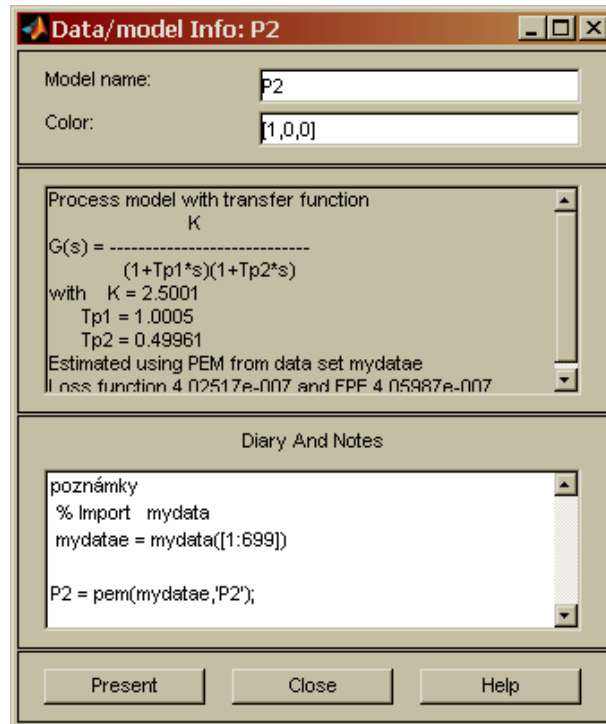
Skúsime rôzne rády, pre jednoduché použitie slúži „Order Selection“. Začatím odhadu sa nám zobrazí táto ponuka (Obr. 23). Je automaticky zvolená odporúčaná hodnota, avšak rád systému závisí hlavne od našich požiadaviek, akú zhodu dát odhadovaného modelu potrebujeme pri validácii dát. Vždy je treba zohľadniť aj zbytočnosť vyšších rádo, pokiaľ je zlepšenie nepostrehnuteľné alebo pre potreby riadenia postačí nižší systém, táto úloha je subjektívna a závisí na požiadavkách.



Obr. 23. Zvolenie rádu stavového modelu

V tomto prípade zvolíme odporúčaný druhý rád a potvrdíme vypočítanie, môžeme tiež skúsiť prvý rád modelu, tlačidlom „Insert“ spustíme odhad.

Vlastnosti zobrazíme pravým tlačidlom na prislúchajúci model. Napr. u „P2“ vidíme okno podľa Obr. 24.

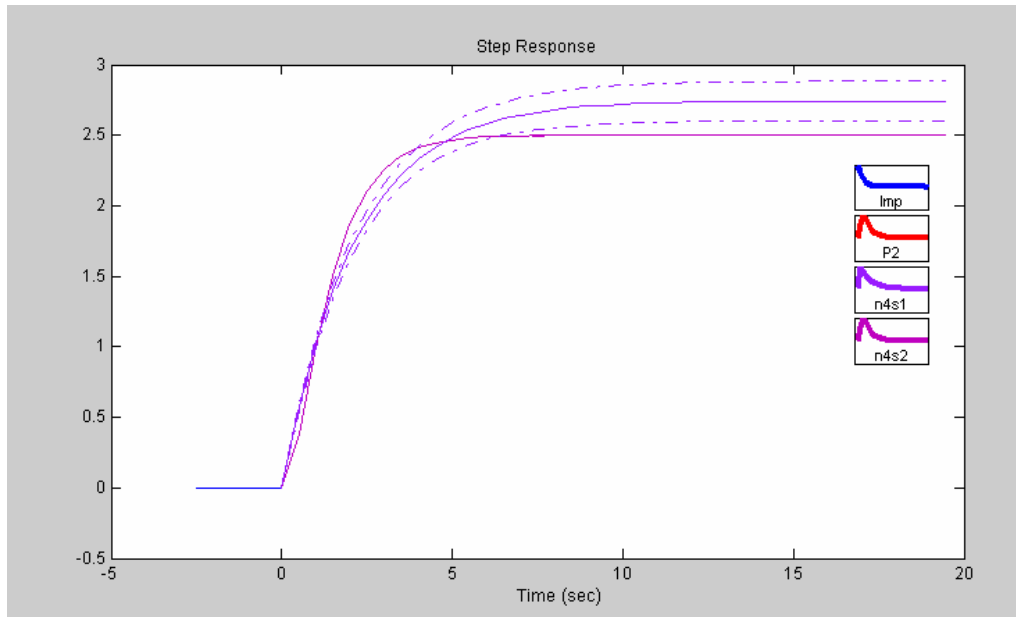


Obr. 24. Vlastnosti modelu „P2“

V ponuke vlastností meníme ľahko názov údaju, prípadne farbu. Nižšie zobrazená je štruktúra, konkrétne hodnoty pólov, núl, dopravného oneskorenia alebo zosilnenia. Takisto ako metódou bol model odhadnutý, názov zdrojových dát a stratu funkcie. Pomocou „Present“ ukážeme údaje v príkazovom riadku Matlab, avšak docielime len zobrazenie.

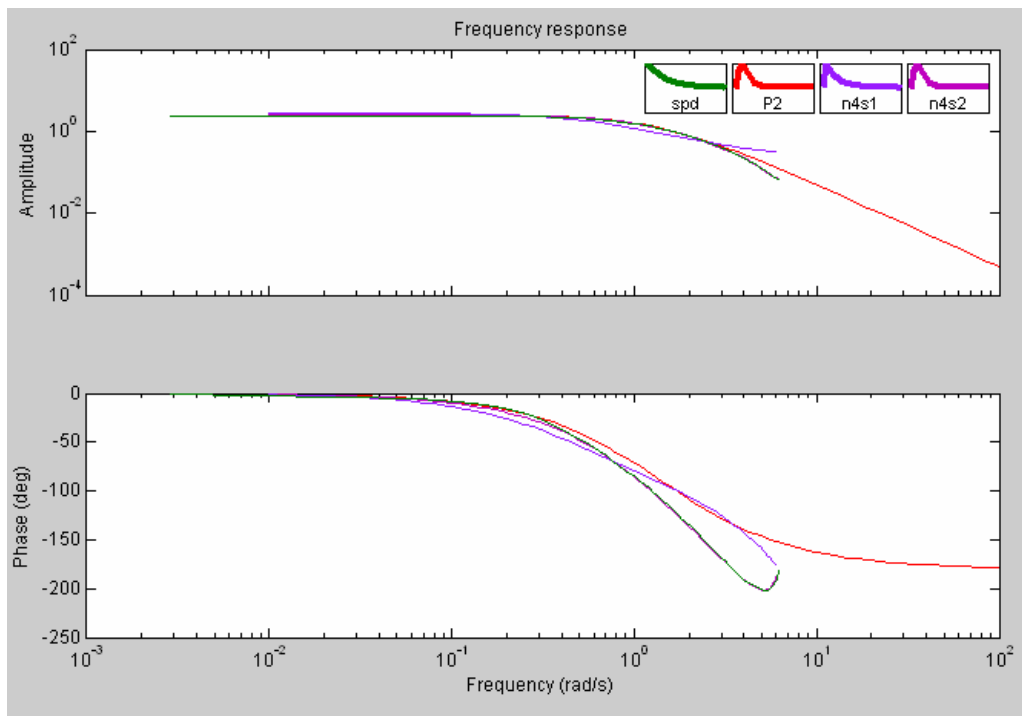
5.2.5 Validácia, kontrola modelov

Overenie platnosti získaného prenosu začneme zobrazením prechodovej charakteristiky pomocou už známeho „Transient resp“ (Obr. 25), zobrazené sú všetky počítané údaje okrem modelu frekvenčnej odozvy. Použijeme možnosť v nastaveniach - 99% interval spoľahlivosti. Vidíme jasnú zhodu, okrem modelu stavového priestoru prvého rádu. Farebné označenia na Obr. 25, Obr. 26 a Obr. 27 sú výsledkom korektúry autora práce a nie sú výstupom Matlab prostredia.



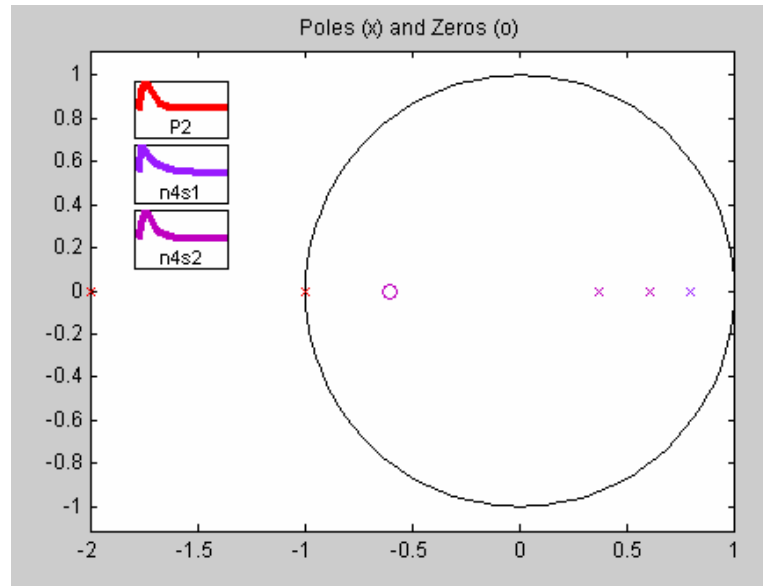
Obr. 25. Prechodová charakteristika odhadovaných modelov

Podobným spôsobom zobrazíme frekvenčnú charakteristiku použitím „Frequency resp“ (Obr. 26), zobrazia sa všetky hodnoty okrem impulzného modelu. Najväčšia zhoda je v tomto prípade u stavového modelu druhého rádu.



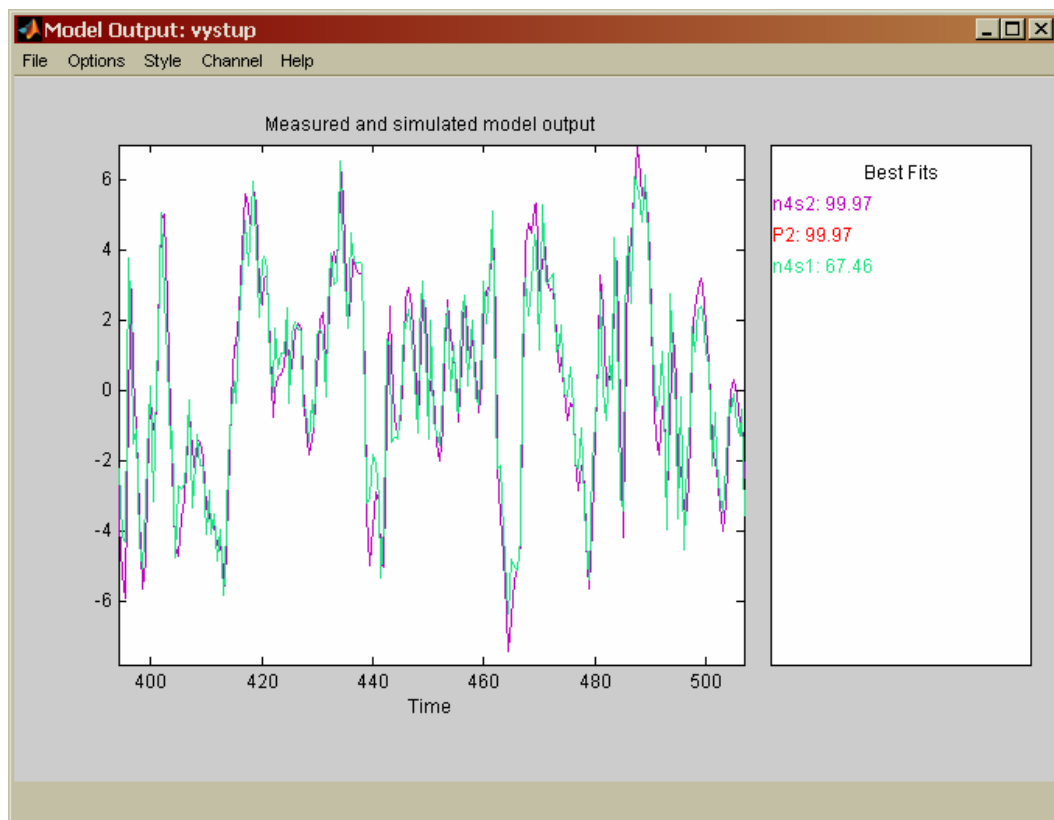
Obr. 26. Frekvenčná charakteristika odhadovaných modelov

Nápomocná je možnosť zobrazenia pólov a núl (Obr. 27) alebo spektra šumu.



Obr. 27. Póly a nuly odhadovaných modelov

Najdôležitejším nástrojom je voľba „Model output“, ktorá nám percentuálne zhodnotí nasimulované výstupy oproti validačnému výstupu. Výsledky si môžeme podrobne pozrieť aj vo výslednom grafe. Náš príklad je ukázaný na Obr. 28.



Obr. 28. Validácia nameraných a odhadnutých dát

Z grafu je jasné, že prenos „P2“ a stavový model druhého rádu „n4s2“ majú zhodu s validačnými dátami 99,97%, to znamená, že sú totožné. Pre stavový model prvého rádu „n4s1“ vyšla zhoda 67,46%, ktorá je síce menšia, avšak stále veľmi použiteľná. Výber je však podmienený aj ostatnými charakteristikami.

5.2.6 Záverečné overenie simulovaného príkladu

V našom prípade si môžeme odhad systému overiť presne. Najjednoduchším spôsobom je previesť odhadované modely do prostredia Matlab.

Jednoduchým prenesením ikony modelov do „To LTI Viewer“ si pozrieme ďalšie charakteristiky alebo prenesením do „To Workspace“ sa objavia medzi premennými Matlab. Prenesieme „n4s2“, „n4s1“ a „P2“ do prostredia Matlab.

Ďalej sa dá pracovať s príkazmi z Control system toolbox.

Prenosovú funkciu dostaneme príkazom $tf(P2)$.

V prípade diskkrétnej prenosovej funkcie prevedieme na spojitý prenos $d2c(tf(n4s2))$.

Pôvodný systém, ktorý sme použili na simulovanie hodnôt:

$$G(s) = \frac{5}{s^2 + 3s + 2} \quad (10)$$

Odhadovaný model prenosovej funkcie „P2“ druhého rádu:

$$G(s) = \frac{5.002}{s^2 + 3.001s + 2.001} \quad (11)$$

Odhadovaný stavový model „n4s2“ prepočítaný na prenosovú funkciu druhého rádu:

$$G(s) = \frac{0.0007s + 4.9990}{s^2 + 3s + 2} \quad (12)$$

Odhadovaný stavový model „n4s1“ prepočítaný na prenosovú funkciu prvého rádu:

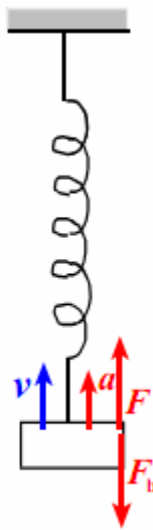
$$G(s) = \frac{1.2990}{s + 0.4733} \quad (13)$$

Prvé dva prenosi sa jasne zhodujú s pôvodným prenosom, čo bolo zrejmé už pri kontrole validity, posledný prenos je nižšieho rádu, má menšiu podobnosť s pôvodným systémom, no pre niektoré požiadavky riadenia by mohol byť postačujúci.

6 IDENTIFIKÁCIA REÁLNYCH DÁT

6.1 Tlmený oscilátor

Reálna identifikácia však prináša viac problémov, ktoré sme spomenuli v priebehu práce. Reálne dáta boli prevzaté z laboratória fyziky, zvolili sme si fyzikálne meranie reálneho tlmeného oscilátoru. Sústava je tvorená neznámou pružinou a závažím. Jednorozmerné riešenie tlmeného oscilátoru je na Obr. 29.



Obr. 29. Príklad tlmeného oscilátoru

Tlmenie oscilátoru je spôsobené brzdými a stratovými vplyvmi. Tie môžeme zhrnúť do jednej brzdnnej sily, ktorá pôsobí proti rýchlosti pohybu (F_b) a je priamo úmerná jej veľkosti (v).

Namerané hodnoty sú v súbore „hodnoty.xls“ (P II), ktorý je súčasťou prílohy. Z nameraných dát si môžeme všimnúť veľkosť vzorkovania 0,01 sekundy. Výstupná hodnota je sila F zobrazená na Obr. 29. Nameraná úloha obsahuje 12 001 hodnôt.

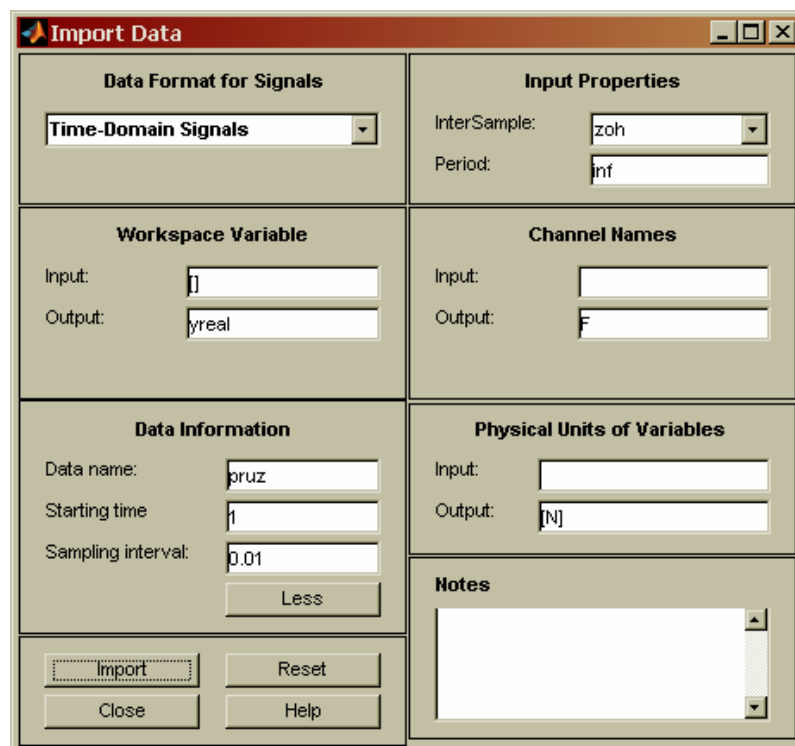
Všimnime si, že máme len výstupné hodnoty, t.j. vstupné hodnoty nepoznáme. Dá sa predpokladať, že pružina bola natihnutá v smere gravitačnej sily. Z nenulovej počiatkovej podmienky generuje kmity. Tieto boli získané v dátovom súbore. Je to iba reakcia na počiatkovú podmienku. Pre identifikáciu potrebujeme znalosť vstupu a výstupu, avšak SIT si dokáže poradiť aj s takýmto príkladom.

6.1.1 Import dát do prostředí SIT

Namerané hodnoty sa nachádzajú v EXCEL súbory. Pre import dát do Matlab prostredia použijeme jednoducho príkaz `yreal = xlsread('hodnoty.xls','list1','c2:c12002');` .

Funkcia „xlsread“ obsahuje prvý parameter názov súboru, druhý názov listu a tretí rozmedzie buniek. Je takisto možné importovať celý súbor naraz. Pred použitím príkazu bolo treba samozrejme otvoriť súbor a zistiť, kde sa dáta nachádzajú.

Spustíme GUI príkazom „ident“ a dáta vložíme do grafického prostredia ako údaje časovej oblasti podľa Obr. 30. Nastavenie rozšírimo o položku „More“.



Obr. 30. Import reálnych hodnôt do GUI

Pre neznámy vstup použijeme „[]“ pretože táto kolónka nemôže ostať prázdna. Názov dáme ľubovoľný napr. „pruz“. Perióda vzorkovania je 0.01. Do „Channel Names“ môžeme zadať názov výstupu, nižšie zadávame výstupné jednotky.

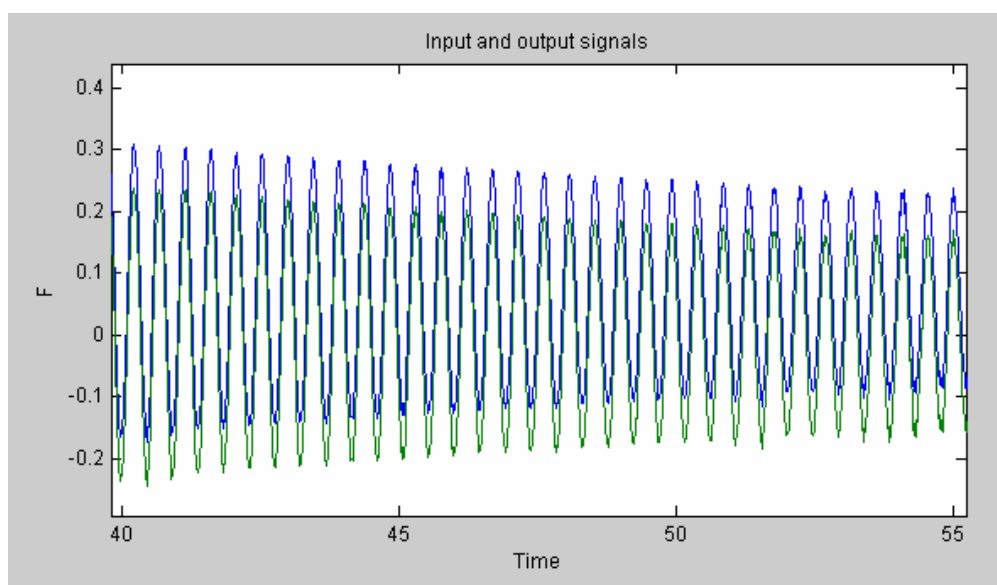
Importujeme údaje, údaje sa pridajú do „Data Viewes“, kde s nimi môžeme pracovať.

Pre prípad identifikácie bez vstupných dát vypneme upozornenia (Warnings) v položke „Options“, pretože prostredie nás bude upozorňovať aké dáta používame.

Dôležité v tomto prípade identifikácie je odstránenie konštantnej úrovne dát, ktoré nám pomôže zlepšiť identifikáciu. Použije funkciu „Preprocess“ a vyberieme možnosť „Remove means“. Do časti dát sa nám pridajú nové údaje „pruzd“.

6.1.2 Zobrazenie dát

Pozrieme si časový priebeh (Time plot), dvojica hodnôt je zreteľná, avšak dáta sú veľmi nečitateľné, meranie pozostáva z veľa hodnôt. Použijeme priblíženie, prípadne dvojklik na zobrazenie celého grafu. Po priblížení uvidíme napr. Obr. 31, z obrázku je zrejmé posunutie hodnôt.



Obr. 31. Časový priebeh nameraných hodnôt

Po podrobnejšom pohľade na hodnoty nevidíme žiadne veľké poruchy výstupného signálu, z toho vyplýva, že použijeme celý rozsah dát. Pri „podozrivých“ hodnotách je lepšie jednoducho oddeliť nevhodný signál.

6.1.3 Spracovanie dát pred odhadovaním modelu

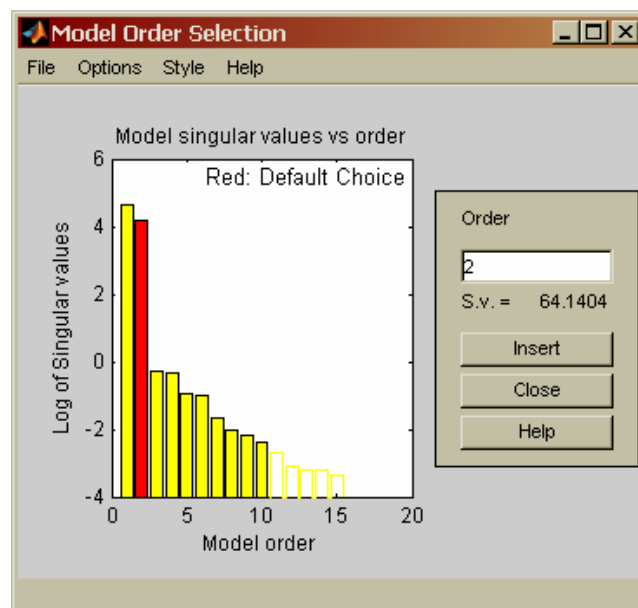
Hodnoty klasicky rozdelíme na pracovné a validačné. Najprv však presunieme hodnoty „pruzd“ do „Working data“. Pomocou „Preprocess“ a položky „Select range“ zvolíme časový rozsah (Time span) od 1 do 60 sekúnd. Vložíme hodnoty, tlačidlom „Revert“ navrátíme pôvodný rozsah a zvolíme časový rozsah od 60 do 121 sekúnd. V hlavnom okne máme následne dáta „pruz“ (pôvodne hodnoty), „pruzd“, „pruzde“ (prvá časť – pracovné dáta) a „pruzdv“ (druhá časť – validačné hodnoty).

Pri zobrazenom časovom priebehu môžeme v hlavnom okne označovať alebo odznačovať hodnoty a ich zobrazenie v grafe.

Pre program je potrebné určiť, ktoré hodnoty budeme používať. Preto presunieme pracovné dáta „pruzde“ do oblasti „Working Data“ a „pruzdv“ do „Validation Data“, čím určíme hodnoty na odhad a validáciu.

6.1.4 Odhad modelu stavového priestoru

Úloha bez vstupného signálu nedovoľuje priamo odhad hodnôt prenosovej funkcie. Použijeme odhad stavového modelu a neskôr prevedieme model na prenos. Vyberieme „Estimate“ a položku „Parametric models“. V otvorenom okne zmeníme štruktúru na „State Space“. Pretože nevieme, ktorý rád požadujeme, použijeme možnosť „Order Selection“. Použitím tlačidla odhadu (Estimate) sa nám zobrazí ponuka (Obr. 32) s ohodnotením jednotlivých rádov.



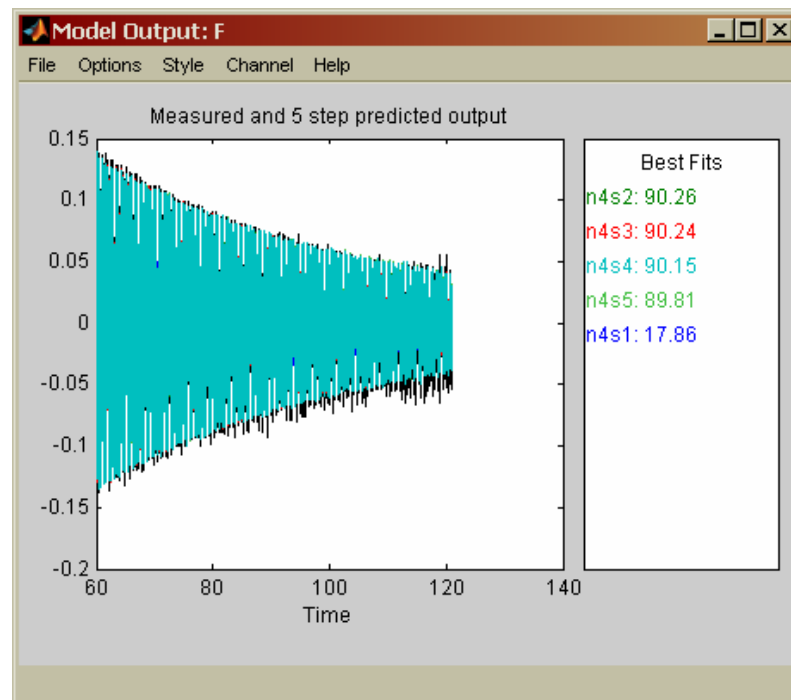
Obr. 32. Voľba rádu stavového modelu

SIT nám automaticky označí „najvhodnejšiu“ hodnotu, v našom prípade druhý rád. Táto možnosť nám nebude stačiť, preto vložíme prvý, druhý, tretí, štvrtý a piaty rád, aby sme neskôr videli rozdiely. Klikaním po x ose volíme rády.

V hlavnom okne vidíme vygenerovaných celkom 5 modelov stavového priestoru. Pravým kliknutím na model môžeme zobrazit' jeho vlastnosti, tlačidlom „Present“ SIT vypíše podrobné vlastnosti do príkazového riadku Matlab, avšak vlastnosti sa dajú len prezerať.

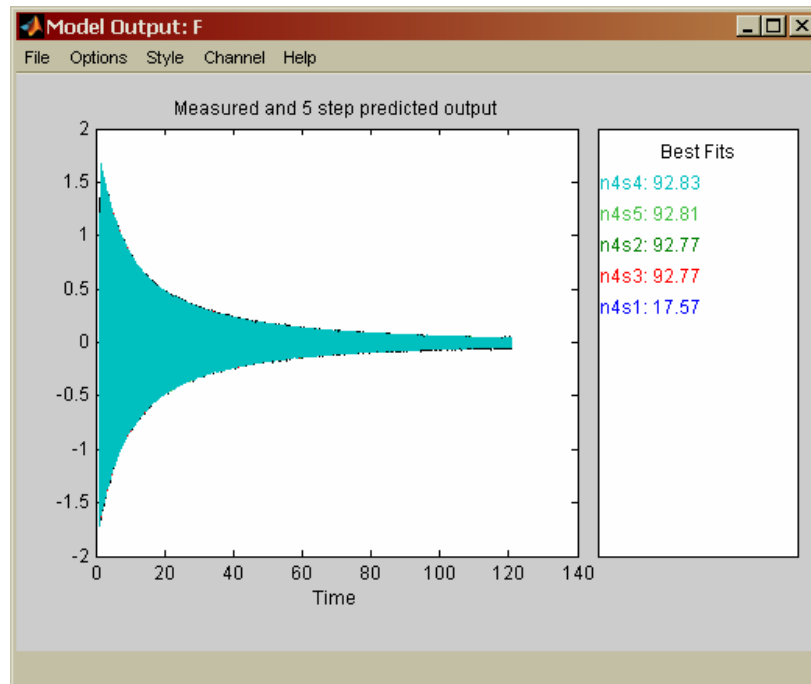
6.1.5 Validácia modelov

Prevedieme záverečné porovnanie pomocou „Model output“, ktoré nám zobrazí druhú časť dát (validačné hodnoty) a simulované hodnoty modelu, konkrétne sa jedná o reálne výstupné hodnoty príklady a simulovaný výstup modelu. Vyhodnotenie dáva možnosť grafickej kontroly a percentuálnu zhodu výstupov ako je zobrazené na Obr. 33.



Obr. 33. Validácia nameraných a simulovaných dát

Validácia hodnôt ukazuje, že prvý rád stavového modelu slabo opisuje reálny výstup. Na rozdiel druhý je zhodný s vyššími rádmami, vyššie rády sú „zbytočné“. Vychádzame z jasnej myšlienky, že sa snažíme o najjednoduchší model, čo vo väčšine prípadov znamená nižší rád modelu. Druhý rád nám poskytuje validitu 90,26%, čo je vysoké percento pri identifikácii reálnych dát. Pozrime sa ešte ako sa modely zhodujú z celým výstupom, je ale dôležité si uvedomiť, že prvá polovica hodnôt bola použitá na odhad modelov.



Obr. 34. Validácia simulovaných a celkových nameraných dát

Výsledky sa podobajú Obr. 33, vidíme len malé rozdiely poklesu validity prvého rádu a vzostupu validity vyšších rádov. Optimálne sa znova ukazuje použitie druhého rádu stavového modelu.

Zobrazenie ďalších charakteristík modelov a ich vzájomné podrobnejšie porovnanie sa nachádza v ukázkových príkladoch prílohy.

Prenesieme model „n4s2“ v hlavnom okne SIT do kolónky „To Workspace“, čím dostaneme model do prostredia Matlab. Diskrétnu prenosovú funkciu prevedieme na spojitý prenos príkazom $d2c(tf(n4s2))$.

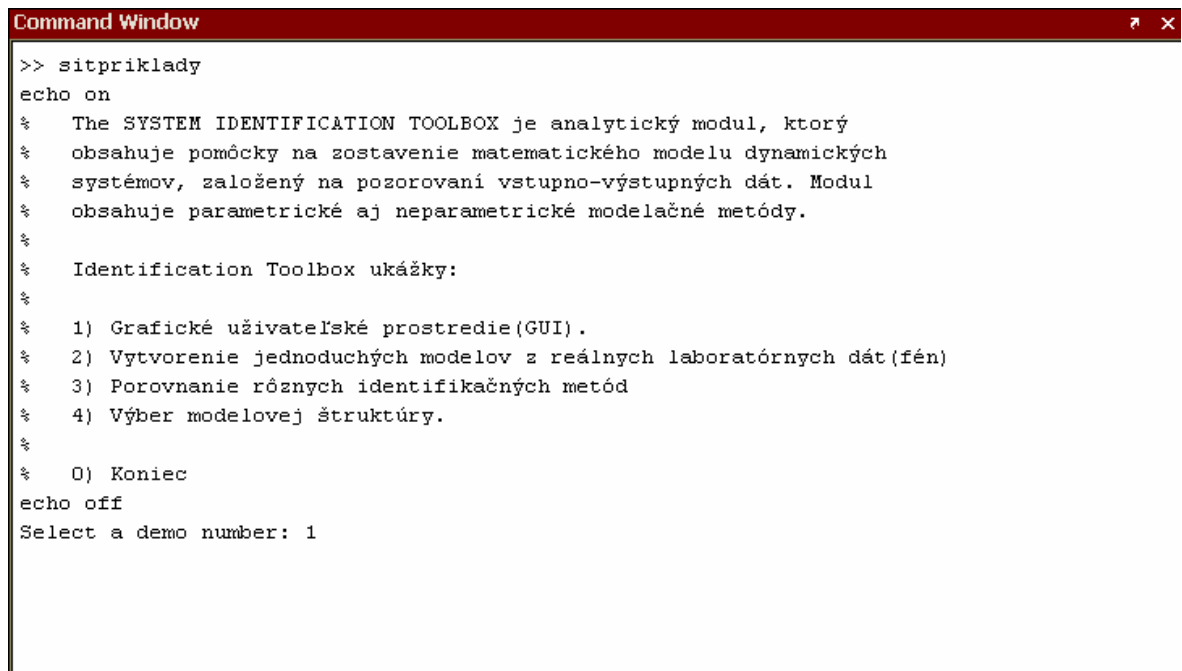
Odhadovaný stavový model „n4s2“ prepočítaný na prenosovú funkciu druhého rádu:

$$G(s) = \frac{0,00813s^2 + 0,1266s + 2,573}{s^2 + 0,1375s + 184,9} \quad (14)$$

Je dôležité pripomenúť, že je ťažké overiť model z dôvodu nepoznaného vstupu, vstup môže byť napr. ľubovoľne veľký impulz. Hlavnou snahou bolo ukázať prácu s SIT, ako aj postup identifikácie.

7 SPRIEVODCA SIT

Sprievodca System Identification Toolbox ponúka rozšírené príklady identifikácie, je zložený z jednoduchého menu, pomocou ktorého sa orientujeme v celom sprievodcovi. Spustíme ho z príkazového riadku Matlab, použitím príkazu „sitpriklady“, pričom musíme byť nastavený v koreňovom adresári príkladu, kde sa nachádzajú všetky súbory potrebné na spustenie príkladov (P III), spustené menu je ukázané na Obr. 35.

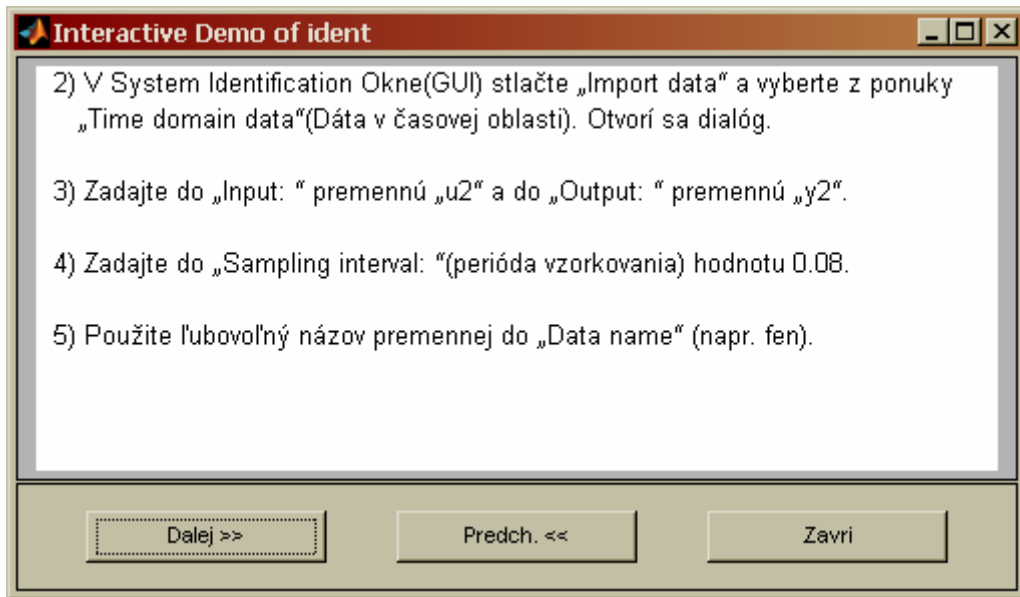


```
>> sitpriklady
echo on
* The SYSTEM IDENTIFICATION TOOLBOX je analytický modul, ktorý
* obsahuje pomôcky na zostavenie matematického modelu dynamických
* systémov, založený na pozorovaní vstupno-výstupných dát. Modul
* obsahuje parametrické aj neparametrické modelačné metódy.
*
* Identification Toolbox ukážky:
*
* 1) Grafické užívateľské prostredie (GUI).
* 2) Vytvorenie jednoduchých modelov z reálnych laboratórnych dát (fén)
* 3) Porovnanie rôznych identifikačných metód
* 4) Výber modelovej štruktúry.
*
* 0) Koniec
echo off
Select a demo number: 1
```

Obr. 35. Ukážka sprievodcu - menu príkazového riadku Matlab

Boli vybraté niektoré demá, ktoré boli preložené z originálnych príkladov, majú však pridané postupy pre potreby univerzity. Ukážky obsahujú ešte podrobnejšie nastavenia prostredia a identifikácie.

Na Obr. 35 vidíme možnosť zvoliť si príklad pomocou čísiel. Po zadaní čísla podrobne postupujeme grafickým prostredím (Obr. 36) alebo zobrazovaným textom v príkazovom riadku podobný demo príkladom Matlab.



Obr. 36. Ukážka grafickej časti sprievodcu

K oknu na Obr. 36 sa automaticky otvára grafické prostredie GUI, jednoducho pokračujeme postupom, pričom je možné vrátenie alebo posunutie návodu. Demá umožňujú voľné používanie príkazov, naučené príkazy si môžeme voľne skúšať a aplikovať.

Priložené príklady a ukážky v práci nevysvetľujú užívateľovi len ovládanie SIT, ale ukazujú aj praktickú aplikáciu a postupy identifikácie, ktoré sa hodia najmä pre začínajúcich užívateľov.

ZÁVER

Problém kvalitného riadenia technologických procesov, ako aj správny popis rôznych procesov a bilancií stále nestratil na dôležitosti pre praktické použitie. Naopak nové výzvy neustále prichádzajú kvôli potrebe zvyšovania presnosti, znižovania spotreby energií a finančných nákladov. Stále sa rozvíjajú nové metódy na určenie a popis objektov, ktoré majú spojitosť s reálnym svetom. Cieľom práce bol náhľad do oblasti experimentálnej identifikácie, ktorá dnes umožňuje možnosť popisu dynamických sústav, ktoré sa v minulosti určovali zložitými postupmi. Práca preferuje prístup Black box modelu, teda nie je nutné poznať fyzikálne procesy prebiehajúce vo vnútri systému, ale len hodnoty vstupných a výstupných veličín. Medzi nimi sa hľadajú funkčné vzťahy, matematické rovnice, čiže modely. Využitie identifikačného (SIT) toolboxu prebiehalo na offline dátach, ktoré boli najprv namerané a digitalizované.

Po oboznámení sa so základnými a často používanými pojmi sú vysvetlené rozdiely medzi analytickou a experimentálnou identifikáciou. Ďalej sú vysvetlené modely parametrické a neparаметrické. Pre vyhodnotenie kvality modelu je možné použiť chybu vstupu, chybu výstupu alebo chybu rovnice. V teoretickej časti je uvedený obecný postup pri identifikácii. Prirodzené (prevádzkové) signály, ktoré možno pozorovať v priebehu prevádzky, nevyžadujú samostatné meranie. Stáva sa ale, že vstupné signály v prevádzke neposkytujú dostatočne členité spektrum, preto je racionálne použiť ako vstupné veličiny generované deterministické, náhodné alebo pseudonáhodné signály popísané v priebehu práce.

Výsledok odhadu modelu nemusí znamenať konečné riešenie, pretože je dôležité zhodnotiť fyzikálny význam parametrov, t.j. použiteľnosť modelu. Za zváženie stojí aj redukcia modelu, je vhodné vyskúšať viac modelov nižšieho rádu. Ak zhoršenie modelu nie je viditeľné pri daných požiadavkách, vyšší rád modelu je zbytočný. Zhodnotenie výsledkov je subjektívne, preto zostáva na používateľovi System Identification Toolbox (SIT), aby zhodnotil a určil správny model.

V praktickej časti sú zhrnuté všetky poznatky a užívateľsky sú ukázané postupy identifikácie, ktoré samy slúžia ako učebný materiál. Na začiatku práce je zobrazené grafické prostredie, kde sa podrobne rozoberajú jednotlivé funkcie, avšak pre jednoduchosť a praktickosť sa v práci uvádza len grafické prostredie. V prílohe sa

nachádza sprievodca príkladmi SIT, ktorý obsahuje aj prácu v príkazovom riadku Matlab, ktorý ponúka podrobnejšie nastavenia.

Simulačne na overenie identifikácie bol použitý jednoduchý príklad otvoreného obvodu bez šumu. Po overení jednotlivých charakteristík sú ukázané zidentifikované modely, prípadne vhodnosť použitia. Jednoduchosť a praktickosť výpočtu je vidieť pri validácii dát, ktorá porovnáva percentuálne nameraný výstup s nasimulovaným výstupom modelu. Výsledok potvrdzuje meranie s 99,9% zhodou s nasimulovaným systémom druhého rádu.

Nasledujúci príklad používa reálne namerané hodnoty tlmeného oscilátora z fyzikálneho laboratória. Problém identifikácie tohto systému je ovplyvnený neprítomnosťou vstupných dát. SIT dokáže pracovať aj s takýmto prípadom. Po validácii dát bola získaná 90% zhoda nameraného a identifikovaného výstupu. Príklad reprezentuje postup identifikácie offline dát, získaný model bol simulovaný v prostredí Simulink.

CONCLUSION

The problem of quality control processes, as well as the correct description of the various processes and balances still not lost the attractiveness for practical use. On the other hand new challenges keep coming because of the need for increasing accuracy, reducing energy consumption as well as to finance. There are still developing new methods to identify and describing objects that are connected to the real world. Aim of the work was objective insight into the experimental identification, which now allows the possibility of description of complex systems that were previously determined by complex procedures. Note that it is not necessary to know the physical processes inside the system, therefore, also called Black Box. Work was carried out offline on measured data, the data were first recorded and later they were estimated.

Once familiar with the essential and frequently used terms were explained differences in analytical and experimental identification. Description of parametric and nonparametric model also evaluate of the quality of the model was described by input error, output error or error in the equation. A general procedure for identification was mentioned in the theoretical part. Natural (operational) signals that can be observed during the duty do not require separate measurement. However sometimes input signals do not provide sufficient spectrum, so it is best to use a deterministic, random or pseudorandom signals described in the course of work.

Results of the estimate models do not necessarily mean a final solution, it is important to assess the importance of physical parameters, i.e. applicability of the model. Another possibility can be seen is model reduction. It is good practice to try more lower-order models. In the case, when the deterioration of the model is not visible to our requirements, the high-order model is useless. Evaluation of results is subjective, therefore it depends on user of the System Identification Toolbox (SIT) to assess and determine the correct model.

The practical part includes all the knowledge and demonstrated practical identification procedures, which themselves serve as teaching material. At the beginning work shows a graphical interface details, analyzes the features. For simplicity and practicality the work contains only a graphical interface. Please find attached guide for SIT, which also contains examples for the command line of Matlab, which offers more detail settings.

Example of an open circuit without noise was used to verify identification. After verification of individual characteristics there were shown identified models. Simplicity and practicality of the calculation is shown in validation of data, which compares the percentage of measured output to simulated output of the model. The result confirms the measurement by 99.9% compliance with the simulated second-order system.

The following example uses actual values of damped oscillator. Problem of identification of this system is affected by the absence of input data. SIT can also work with this difficult case of data. Validation shows approximately 90% output match. An example primarily shows the process of identifying offline data, but it was also verified in the circuit created in Simulink.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] LJUNG, L.: System Identification Toolbox User's Guide. The MathWorks, Inc, 2005.
- [2] LJUNG, L., LJUNG, E.: System Identification: Theory For The User. Prentice Hall Ptr, 1999.
- [3] SÖDERSTÖM, T., STOICA, P.: System identification. Prentice Hall Inc., 1989.
- [4] JUANG, J.: Applied System Identification. Prentice Hall Ptr ,1993
- [5] FIKAR, M., MIKLEŠ, J.: Identifikácia systémov I, II. STU Bratislava 1999, 2004.
- [6] Documentation: User's Guide (System identification toolbox): The MathWorks, Inc. Dostupný z URL:
<http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/ident/ug/ug_intropage.html>.
- [7] Documentation: Linear Model Identification: The MathWorks, Inc. Dostupný z URL:
<<http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/ident/ug/bqs6msi.html>>.
- [8] AT&P journal 6/2008: Priemyselný software, Matlab: System Identification Toolbox. Dostupný z URL:
<http://www.atpjournal.sk/casopisy/atp_08/pdf/atp-2008-06-68.pdf>.
- [9] NOSKIEVIČ, P.: Modelování a identifikace systémů. Montanex a.s., 1999.

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

ARMAX Auto-regressive moving average exogenous

ARX Auto-regressive exogenous

EI Experimentálna identifikácia

GUI Grafické užívateľské prostredie

OE Output error

PEM Prediction error method.

SIT System identification toolbox

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1.	Bloková schéma pre chybu výstupu.....	16
Obr. 2.	Bloková schéma pre chybu vstupu.....	17
Obr. 3.	Bloková schéma pre zobecnenú chybu	17
Obr. 4.	Schematický diagram postupu EI, zdroj [5].....	19
Obr. 5.	Heavisideov signál a jeho spektrum.....	23
Obr. 6.	Jednotkový signál so spektrom	23
Obr. 7.	Pravouhlý signál a jeho spektrum	24
Obr. 8.	Skok rýchlosti so spektrom	24
Obr. 9.	Náhodný vstup	24
Obr. 10.	Pseudonáhodný binárny signál, zdroj [5].....	25
Obr. 11.	Výkonová spektrálna hustota a autokorelačná funkcia bieleho šumu	25
Obr. 12.	Grafické užívateľské prostredie	28
Obr. 13.	Ukážka charakteristiky modelu v LTI viewer.....	30
Obr. 14.	Bloky SIT v Simulinku	31
Obr. 15.	Identifikačné bloky SIT v Simulinku.....	31
Obr. 16.	Schéma zdroja jednoduchej identifikácie.....	32
Obr. 17.	Import údajov GUI.....	33
Obr. 18.	Grafický priebeh simulovaného vstupu a výstupu	34
Obr. 19.	Prechodová charakteristika simulovaných hodnôt.....	35
Obr. 20.	Frekvenčná charakteristika simulovaných hodnôt.....	35
Obr. 21.	Určenie prenosovej funkcie v GUI	36
Obr. 22.	Zvolenie parametrického modelu.....	37
Obr. 23.	Zvolenie rádu stavového modelu	37
Obr. 24.	Vlastnosti modelu „P2“	38
Obr. 25.	Prechodová charakteristika odhadovaných modelov	39
Obr. 26.	Frekvenčná charakteristika odhadovaných modelov	39
Obr. 27.	Póly a nuly odhadovaných modelov	40
Obr. 28.	Validácia nameraných a odhadnutých dát.....	40
Obr. 29.	Príklad tlmeného	42
Obr. 30.	Import reálnych hodnôt do GUI.....	43
Obr. 31.	Časový priebeh nameraných hodnôt	44

Obr. 32.	Voľba rádu stavového modelu	45
Obr. 33.	Validácia nameraných a simulovaných dát.....	46
Obr. 34.	Validácia simulovaných a celkových nameraných dát	47
Obr. 35.	Ukážka sprievodcu - menu príkazového riadku Matlab	48
Obr. 36.	Ukážka grafickej časti sprievodcu	49

ZOZNAM PRÍLOH

P I Jednoduchý otvorený obvod na simuláciu: Matlab/Simulink.

CD-ROM:\zaklobvod.mdl

P II Reálne namerané hodnoty tlmeného oscilátora : Microsoft Excel.

CD-ROM:\hodnoty.xls

P III Sprievodca System Identification Toolbox: Matlab.

CD-ROM:\priklady\sitpriklady.m