
OPONENTNÍ POSUDEK DIZERTAČNÍ PRÁCE

Mgr. Martina Tůmy „Použití zobecněných Laguerrových funkcí pro identifikaci a modelování“

Dizertační práce Mgr. Martina Tůmy se zabývá aplikací zobecněných Laguerrových funkcí v úlohách identifikace lineárních spojitých dynamických systémů a zpracování signálů.

Úloha identifikace systémů představuje hledání matematického modelu systému na základě měřených vstupně-výstupních dat. Práce se zaměřuje na identifikaci dynamických systémů, které jsou lineární, spojité v čase, s jedním vstupem a jedním výstupem. Modely systémů jsou v práci uvažovány ve formě přenosu a jako nástroj pro nalezení parametrů byly zvoleny zobecněné Laguerrovy funkce. Pro identifikační účely byly váženým součtem těchto funkcí aproximovány jak vstupní, tak výstupní signály.

V případě úlohy zpracování signálů se práce soustředí na tzv. kompresi dat, kde se inspiruje využitím diskrétní kosinové transformace v této úloze a nahrazuje tuto transformaci tzv. diskrétní Laguerrovou transformací využívající zobecněné Laguerrovy funkce.

Samotný text práce, psaný anglicky v rozsahu cca. 80 stran, je rozdělen do osmi kapitol. Po krátké úvodní kapitole, se druhá kapitola věnuje teorii Laguerrových funkcí a polynomů a nástinem jejich použití. Aplikací zobecněných Laguerrových funkcí v úloze identifikace spojitých systémů se zabývá kapitola třetí a na volbu optimálních parametrů pro vážený součet zobecněných Laguerrových funkcí se zaměřuje kapitola čtvrtá. Vzhledem k tomu, že navržený postup identifikace vede na modely vysokého řádu, probírá pátá kapitola redukci řádu modelu. V šesté kapitole je pak navržený postup identifikace ilustrován na identifikaci jednoduchých deterministických systémů formou simulace a experimentů s reálnými daty. Využitím zobecněných Laguerrových funkcí v kompresi dat se zabývá kapitola sedmá a osmá kapitola práci uzavírá.

Přínos práce, popsany autorem v úvodní kapitole, spočívá v použití zobecněných Laguerrových funkcí namísto jednoduchých Laguerrových funkcí při řešení úloh identifikace systémů a komprese dat, přičemž parametry těchto funkcí jsou získány optimalizací. Cílem použití zobecněných Laguerrových funkcí v identifikaci je získání kvalitnějšího modelu než v případě použití jednoduchých Laguerrových funkcí a v případě komprese dat je cílem dosažení kvalitnější komprese. Splnění těchto cílů je v práci ověřeno na jednoduchých příkladech jak simulačně, tak s použitím reálných experimentálních dat. Výsledky výzkumu doktorand publikoval ve třech konferenčních článcích a dvou časopiseckých článcích publikovaných v časopise GRANT. Konferenční články byly publikovány na dvou mezinárodních konferencích a jedné studentské konferenci. Na tomto místě je vhodné poznamenat, že konferenční článek [1] a časopisecká publikace [4] jsou z větší části totožné.

Jak v případě identifikace systémů, tak v případě komprese dat je řešení výše uvedených cílů vysoce potřebné a aktuální. Kvalitní model systému je nezbytným předpokladem pro další práci se systémem, ať již se jedná o řízení, rozhodování, detekci poruch, či odhadování neměřitelných veličin. Model systému je v práci získán využitím aproximace vstupního a výstupního signálu váženými součty zobecněných Laguerrových funkcí. Protože jsou použité zobecněné Laguerrovy funkce parametrizovány uživatelskými parametry, snaží se doktorand o jejich optimální nastavení, což je přirozený přístup vedoucí následně ke kvalitnějším modelům. Stejně tak se doktorand snaží redukovat řád získaného modelu vzhledem k tomu, že navržená metoda poskytuje modely s velmi vysokým řádem.

Potíž zvoleného přístupu je předpoklad poměrně výrazně omezující třídu identifikovaných systémů. Předpokladem jsou data generovaná lineárním spojitým dynamickým systémem s jedním vstupem a jedním výstupem, přičemž je uvažován šum ovlivňující výstup systému. V práci není vůbec diskutována např. možnost rozšíření navržené metody identifikace pro systémy s více vstupy a výstupy. Výhody použití navržené metody

jsou ověřeny jednak simulačně na datech generovaných z deterministického systému maximálně třetího řádu a také experimentálně na datech generovaných laboratorně vytvořeným lineárním systémem opět maximálně třetího řádu. V případě experimentálního ověření lze očekávat, že měřená data budou pravděpodobně zašuměná. V obou případech lze tedy konstatovat, že systémy generující data splňují předpoklady. Pro samotné ověření výhod navržené metody identifikace s ohledem na možnosti jejího reálného použití by bylo vhodné zkoumat její chování pro data generovaná systémem mnohem většího řádu, či data generovaná nelineárními systémy s respektováním šumu. Zejména v případě testů pro nelineární generátory dat by se mohla ukázat robustnost navržené metody.

Co se týče volby optimálních parametrů pro vážený součet zobecněných Laguerrových funkcí prezentované ve čtvrté kapitole, čerpá dizertační práce převážně z publikace [36], a u problematiky redukce řádu modelu obsažené v kapitole páté doktorand vychází zejména z publikace [42]. Přínos dizertační práce je tedy obsažen v kapitolách tři (návrh identifikační metody), šest (ověření identifikační metody na simulovaných a reálných datech) a sedm (návrh metody pro kompresi dat).

Co se týče jazykové stránky vlastního textu, je práce kvalitní a obsahuje pouze několik chyb a překlepů. Nicméně, po formální stránce lze práci vytknout zejména fakt, že kapitoly čtyři a pět obsahují doslovně celé pasáže (text včetně vztahů) z publikací [36] a [42], které nejsou autorovou prací. Přesněji, většina teoretické části kapitoly čtyři (stránky 35 až 38) je převzata z publikace [36] a podobně většina kapitoly pět (stránky 47 až 52) je převzata z publikace [42], aniž by text byl označený jako citace. Práce má několik obsahových nedostatků, které jsou společně s poznámkami k jazykové a formální stránce vyjmenovány níže.

Závěrem lze konstatovat, že námět práce odpovídá oboru dizertace, kterým je kybernetika, automatizace a měření. Co se týče přínosu dizertační práce, kterým je stručně řečeno náhrada jednoduchých Laguerrových funkcí Laguerrovými funkcemi zobecněnými s optimálním nastavením parametrů v metodách identifikace systémů a komprese dat, je tento průměrný, až podprůměrný. V práci byly metody otestovány pouze na velmi jednoduchých systémech a chybí tak např. důkladnější analýza výhod navržené metody identifikace s ohledem na složitější systémy (vícerozměrné, stochastické, s vyšším řádem). Taková analýza by umožnila posoudit možnosti aplikace navržených metod v reálných problémech. Dále lze práci vytknout převzetí textu včetně matematických vztahů z cizích článků, přičemž text tvoří podstatnou část kapitol čtyři a pět dizertační práce. Přestože se práce na zmíněné články odkazuje, měl být příslušný text označen jako doslovná citace. Tento fakt navíc znesnadňuje identifikaci vlastního přínosu doktoranda. Publikační činnost doktoranda je na průměrné úrovni, postrádám publikaci výsledků formou článku v impaktovaném časopise. Celkově práci doporučuji k obhajobě s tím, že se v jejím průběhu doktorand vyjádří ke zmíněným výtkám.

Obsahové připomínky:

- Kapitola pět obsahuje na konci popis několika tzv. „balancing“ transformací, aniž by tyto byly nějak v práci dále využity.
- Seznam literatury není zpracován pečlivě: časopisecké reference [12, 16, 19, 20, 21, 22, 31, 32, 34, 37, 38, 44, 45, 49, 52, 55, 58] postrádají čísla časopisů, neboť jsou u nich uvedena pouze svazky a reference [11, 25, 47, 54] obsahují nějaký text navíc, případně není zdroj dostatečně zřejmý.
- Rovnice (3.32) popisující relaci Laplaceovy transformace vstupu a výstupu je odvozena od rovnice (3.2) obsahující šum. Ten je v rovnici (3.32) ignorován.
- Není zřejmé, proč je veličina popsána vztahem (4.4) nazvaná „integral square error“ (ISE), když definice veličiny žádný integrál neobsahuje.
- Rovnice (5.2): Pokud je matice A obdélníková, pak matice Σ v jejím SVD rozkladu musí být také obdélníková.

- V teoretické části se předpokládá, že data jsou generována lineární spojitou diferenciální rovnicí obsahující šum, ale v simulacích jsou data generována systémem deterministickým. To významně ulehčuje práci identifikačním metodám. Bylo by zajímavé vidět, jak se měnící úroveň šumu projevuje na kvalitě identifikovaného modelu.
- V ilustračních příkladech není uvedeno, jaké množství dat bylo použito pro identifikaci systémů.
- Není zřejmé, proč je v kompresi dat použita DLTopt metoda s optimální hodnotou parametru alfa a zvoleným škálovacím parametrem $p=0.5$ a nikoliv s optimálním nastavením obou parametrů.
- Závěr není kvalitně zpracován. Postrádá zhodnocení dopadů a možnosti aplikací v práci navržených metod identifikace systémů a zpracování signálů. Obsahuje sice možnosti pro budoucí vylepšování navržených metod, nicméně zakončení závěru matematickými vztahy (8.1) až (8.3) není příliš vhodné.

Jazykové a formální nedostatky:

- s. 23: „the additive terms ... represents ...“
- s. 24: „The discrete time model have ...“
- s. 26: Zkratky CT a DT jsou z kontextu zřejmé, ale mohly by být definovány.
- rovnice (3.30): Místo proměnné $x(t)$ by měla být správně použita proměnná $u(t)$.
- Symbol Sigma je používán k označení jak matice v SVD rozkladu, tak stavové reprezentace systému (rovnice (5.13)), což je matoucí.
- s. 53: „... we will demonstrate the system identification with dynamical system, which were ...“
- V kapitole 6.1 jsou jednotlivé experimenty označeny jako systém 1, 2, atd., ačkoliv jde často o stejný systém, pouze se změnil vstupní signál pro identifikaci. To je pro čtenáře matoucí. Navíc různých systémů je v kapitole 6.1 pouze pět, nikoliv šest, jak je uvedeno na straně 66.
- Funkce RMS používaná ve vztahu (6.1) není v práci definovaná.
- s. 53: „... the DLT have the same energy ...“
- Není zřejmé, co znamená označení DLTO v obrázcích 7.2.1 – 7.2.4.

V Plzni 1.9.2017



doc. Ing. Ondřej Straka, Ph.D.