

РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „доктор” в професионално направление 5.2. “Електротехника, електроника и автоматика”, докторска програма “ Теория на автоматичното управление”

Автор на дисертационния труд: маг. Инж. Иван Атанасов Попов, редовен докторант към катедра „Автоматизация на производството” в Техническия Университет – Варна

Тема на дисертационния труд: „Адаптивна Калманова филтрация за динамично позициониране“

Изготвил становището: проф. д-р инж. Евгени Методиев Миланов,
Институт по металознание, съоръжения и технологии с Център по хидро- и аеродинамика „Акад. Е.Балевски” – БАН

Обща част

Представеният от докторант дисертационен труд е в обем 228 стр. и съдържа пет глави, две основни приложения, 6 таблици и 79 графики от с анализи от числени изследвания, изводи и списък на 215 литературните източници. Подходът при структурирането на дисертацията съответства на изискванията на Правилника за обучение на докторанти в ТУ-Варна.

1. Актуалност на разработения в дисертационния труд проблем

В морската индустрия прецизното позициониране и дългосрочния контрол на движението на снабдителски кораби и поддържането на офшорните конструкции в необходимото положение са важни в тежките експлоатационни условия. Швартовите системи и азимутните двигатели са основни инструменти за поддържане на конструкциите в зададените координати при въздействието на течения, вятър и вълни. В случая на мултифункционалните кораби към тях могат да се добавят носовите и кърмови тунелни подрулващи устройства, снабдени с реверсивни двигатели. Това поставя високи изисквания към проектирането на разглежданите морски съоръжения и в частност към системите, осигуряващи безопасна и целогодишна работоспособност. Нещо повече, корабните класификационни организации регламентират проектирането, настройката и тестването на ДП системите. Всичко това изисква разработването на успешна система за динамично позициониране на плавателен съд изисква средства, в това число проверка производителността на цялата система от управлението до реакцията на обекта към стохастичното по принцип въздействие на околната среда. Опитът в тази област показва, че симулационните изследвания на процесите и оптимизацията системата за управление са неотменима част от процеса на проектиране, което обуславя постигането желаната производителност в променящата се среда, като осигуряват отговор в случай на внезапна повреда или липса на сигнал от компонент от системата.

Дисертационната работа е ориентирана към проблемите на системите за позициониране на кораба, в частност към анализа на подходите при изграждането на оценители на състоянието и решаването на задачата за адаптивна настройка на оценителите. От автора е предложен алгоритъм за адаптивна настройка, включително и съответен критерий за оптималност. Извършен е значителен обем симулационни изследвания на настройката на предлагания оценител, установени са неговите качества, като в резултат са получени резултати за характеристиките на вълновата филтрация.

Проведените от докторанта числени изследвания са съпроводени от задълбочен сравнителен анализ, получените резултати имат полезна стойност и свидетелстват за много добрата квалификация на кандидата.

На основание гореизложеното считам, че тематиката на изследването е актуална, получените резултати са полезни и представляват интерес за специалистите в областта на проектирането на системи за динамично позициониране на морски обекти.

2. Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал

Дисертационният труд се характеризира с подробен обзор на проблемите, свързани с изграждането на разглежданите системи. В уводната част са представени измервателните елементи, принципите особености на навигационните системи за динамичното позициониране, както и главните задачи на оценителите на състоянието на обекта. В основната част детайлно са анализирани съществуващите подходи за линейна и нелинейна филтрация на променливата информация в оценителя на състоянието. Моделирането на компонентите на наблюдателя – динамика и кинематика на кораба; морското нерегулярно вълнение, вятъра и течението са представени в алгоритмизиран вид. Проблемът, свързан с адаптивната настройка на параметрите на адаптивните филтри е анализиран обстойно, като от автора е предложен метод за вълнова филтрация с критерий за оптималност. Програмната реализация на разработените алгоритми е на високо ниво, което способства за извършването на систематични числени експерименти.

Всичко това свидетелства за много доброто познаване на тематиката, при което авторът определено внася творчески елемент в анализа на съществуващи решения.

3. Съответствие на избраната методика на изследване и поставената цел и задачи на дисертационния труд с постигнатите принос

В дисертационния труд чрез заглавието общо се формулира задача за приложение на адаптивна Калманова филтрация за динамично позициониране конкретно за кораб. Тази обща постановка се развива и решава в няколко задачи, а именно:

- Осъществен е подробен анализ на актуалните вълнови филтри с акцент върху методите за адаптивна настройка
- Разработена е алгоритъм и адаптивна процедура за онлайн параметризиране на ковариационните матрици на външните смущения и на измервателния модел
- Към наблюдателя на състоянието са изградени нелинеен пасивен наблюдател и два моделно-базирани филтри

- Общият симулационен модел е реализиран в среда на Simulink чрез което могат се използват библиотечните блочни процедури и скриптове от раздела за Калманова филтрация
- Извършена е настройка на моделите на смущенията от околната среда и на модулите на наблюдателя
- Осъществени са симулационни изследвания за работоспособността и качествата на предложената адаптивната процедура за варианти на входни смущения и начини на филтрация, в частност на преходните процеси и на формулираната целева функция.
- Получените от числените симулации резултати са онагледени графично и надлежно коментирани.

Считам, че приложените от автора подходи следват логиката на подготовката, алгоритмизацията и числената реализация на едно поставено и осъществено научно изследване.

4. Кратка аналитична характеристика на дисертационния труд

Въведението на дисертационния труд е посветено на развитието на системите за динамично позициониране и освен описанието на елементите, техните характеристики и функции от системата има за цел да подчертае многообразието от задачи, свързани с проектирането и изследването на тези системи.

Във втората глава се анализират известните подходи за реализация на наблюдателите на състоянието в разглежданите системи. Основен предмет на внимание са начините за оценка на състоянието с помощта на линейна и нелинейна филтрация на външните смущения. Предвид неъмнено доказаните предимства на Калмановата филтрация са анализирани качествата на отделните варианти на подобен филтър и най-подробно нелинейните му разновидности. В резултат е избран нелинеен вълнови филтър, описан в глава 3.

Трета глава е посветена на начините за построяване на оценителя на състоянието в системите за динамично позициониране. В това отношение важен съставен елемент предствалва математическият модел на движение на кораба и на външните въздействия – вятър, вълнение и течения. Хидродинамичните модели на кораба, базирани на Нютоновата механика за движение на твърдо тяло във вискозна среда са построени при определен брой допускания относно обтичането на корпуса, гребния винт и руля, особено в режим на сложно маневрено движение при наличие на въздействието на вятър, вълнение течения. Тези математически модели представляват изключително близко приближение в описанието на кинематиката и динамиката на обекта, но все пак в строги категории не могат да се считат за абсолютно точни. Очевидно тези модели са детерминистични и не отчитат стохастичното по принцип влияние на околната среда. Широко използваният в корабната хидродинамика компонентен математически модел на движението на кораба е записан в компактна матрична форма по Fossen. За целите на позиционирането на кораба се възприема 3D модел в хоризонталната равнина на несмутената водна повърхност. Допускането за честотна независимост на матрицата на присъединените маси M_A представлява апробирана от другите изследователи хипотеза. Предположението за линейност на матрицата на демпфирането D дори и при ниски скорости е спорно, но представлява достаъчно добро приближение. Влиянието на течението е отразено с добавки в компонентите на линейната скорост и ъгъла на потока

спрямо корпуса. Предположението за постоянство на скоростта и направлението на теченията естествено е условно и зависи от характеристиките на акваторията, но е вярно само за крайни времеви интервали. Определянето на ветровото въздействие върху надводната част на кораба чрез регресионни зависимости, базирани на резултати от експерименти с мащабен модел в аеродинамична тръба е общоприето предвид достъпността на данните и тяхната техническа точност.

За генериране на нерегулярното морското вълнение се прилага класическият подход на представянето му като сума от голям брой регулярни вълни с рандомизирани фазови измествания. За целите на моделирането му се използват стандартните спектри с приложена вълнова филтрация. Правилно се използва стандартния спектър на вълнението JONSWAP, която се препоръчва от корабните класификационни организации за тестов при отсъствие на такъв за конкретна акватория. Разглеждат се различните походи за апроксимация на спектъра в наблюдателя на състоянието. Постулира се, че при подходящо избран филтър с бял шум на входа може да се получи подходяща предавателна функция с която се моделира необходимия спектър на вълнението. Като релевантен подход се предлага Калманова филтрация. Анализира се проблемната настройка на филтъра във функция от променливото състояние на метеорологичната обстановка, като в тази връзка от автора се въвежда допълнителен параметър за целите на адаптивна настройка. Формулирано е уравнението на измерването на високочестотната вълнова и нискочестотната (на дрейфа от външните смущения) компоненти, както и резултантния нелинеен модел на наблюдателя на състоянието в ДП системата. При условие, че параметрите на движението са в ограничен диапазон, моделът е линеаризиран.

В глава четвърта се анализират методите за адаптивна настройка на вълновите филтри. На базата на извършена класификация, подробно се разглеждат известните подходи. Особено внимание е посветено на актуално използваните в системите за позициониране вълнови филтри. Подробно е разгледан нелинеен пасивен наблюдател на състоянието на Fossen & Strand, базиран на Калманов вълнови филтър. Разгледани са класическите методи за настройка на вълнови филтри и от автора е предложен алгоритъм за адаптивна настройка на статистическите параметри на филтъра. Разгледани са неговите предимства като възможност за вграждане в линейни и нелинейни решения за вълнова филтрация, формулирана е целева функция с обективен критерий за достигане на оптимален резултат. В глава пета са осъществени числени изследвания на възможностите за използване на предлагания алгоритъм за постигане на оптимално решение в частта вълнова филтрация. Генерирана е опитна постановка на числените експерименти в среда на Simulink като в качеството на реален обект се използват публикувани данни за снабдителен кораб от офшорната индустрия. В контура на регулатора алтернативно са включени: основен нелинеен пасивен наблюдател и последователно свързани 4 класически филтъра със съответните 4 моделно-базирани адаптивни филтри. Така може да се изследват отделно качествата на възможните варианти. Извършена е настройка на параметрите на вълнението, теченията, пасивния наблюдател и на вълновите филтри. Симулационно са изследвани преходните процеси в преставащите особен интерес ковариационни матрици в адаптивните филтри. Получени са времената за сходимост за достигане на приложения критерий за оптималност. Резултатите обосновават приложимостта на предложената самонастройка при линейна и нелинейна вълнова филтрация. Изследвани са свойствата на целевата функция и е установен слабото влияние на преместващия прозорец върху качеството на филтрацията. На основата на многократни параметрични

числени изследвания се постулира, че резултатите, получени по метода на адаптивната филтрация превъзхождат аналогично получените резултати за нелинения пасивен наблюдател.

5. Научни и научно-приложни приноси на дисертационния труд

5.1 Научни приноси

- Основано на резултатите от числените изследвания за научен принос считам формулирането на критерий за оптималност на вълновата филтрация.

5.2 Научно - приложни приноси

- Симулационни изследване на качествата на вълнова филтрация с използване на класически Калманови филтри и сравненени с разработените от автора вградени процедури за адаптивна филтрация
- Числена реализация на подходи за трансформация на задачата за оптимална филтрация към задача за минимизация на функция

5.3 Приложни приноси:

- Моделиране на въздействието на околната среда
- Реализация на моделите на наблюдателя на състоянието, на кораба и външните смущения в среда на Simulink.

6. Може ли да се оцени в каква степен дисертационния труд и приносите представляват лично дело на дисертанта?

Съгласно представения дисертационен труд и личните ми впечатления от съместната работа с докторанта мога да направя заключение, че основните резултати от дисертационния труд са лично дело на докторанта.

7. Значимост на научноизследователските и приложни приноси на дисертационния труд

Независимо от факта, че в българската морска индустрия системите за позициониране на морски обекти в настоящия момент не са предмет на внимание, то определено може да се твърди, че резултатите от дисертационния труд са значими и могат да намерят приложение. Например, вече се планира използването на отделни решения от дисертационната работа с участието на автора в изграждането на интегрирана навигационна система за управление на автономен корабен модел във вълновия басейн на ЦХА-Варна.

8. Някои препоръки и критични бележки

Направените от рецензента забележки по време на предварителната защита са отстранени по подходящ начин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценявам положително полезността на получените в дисертационния труд резултати, свързаните с това методи на симулационно изследване и направените приноси. Разработката удовлетворява изискванията на ЗРАСРБ и Правилника за неговото приложение. На основа на това заключение предлагам на Научното жури да присъди на инж. Иван Атанасов Попов образователната и научна степен „доктор” в професионално направление 5.2. “Електротехника, електроника и автоматика”, по докторска програма „Теория на автоматичното управление”.

19.01.2022 г.
Варна

Рецензент:

/проф. д-р, инж. Евгени Миланов/