

РЕЦЕНЗИЯ

от доц. д-р Аспарух Марковски

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен *доктор*с автор *маг. инж. Мирослава Бончева Барахарска*на тема *Методи за подобряване на динамиката на измерванията в системи за управление*

под научното ръководство на доц. д-р Цоньо Славов и проф. д-р Иван Марковски

в професионално направление 5.2. *Електротехника, електроника и автоматика*научна специалност 02.21.10 *Приложение на принципите и методите на кибернетиката в различни области на науката*

Актуалност на дисертационния труд

Целта на дисертационния труд е да се доразвият известни методи – основани на използване на модел и безмоделни – за подобряване на процеса на оценяване на опитно измервана величина. По-точно, доразвива се идеята за оценяване със стандартен РМНМК, като е разработен модифициран вариант на този метод. Разработва се нов метод за подобряване на динамиката на измерване, базиран на нелинеен модел, при което възниква идеята нейните състояния да бъдат оценени с Разширен филтър на Калман. Предложен е и многомоделен вариант със стандартни филтри на Калман, а също и с H_∞ филтри, за какъвто подход няма данни в достъпната литература. Разглеждат се и се предлагат разширени варианти на оценяване с ортогонални модели на Лагер и Кауц. Съгласно моите данни и литературата, това е област, която продължава да се развива. В този смисъл, темата на дисертационния труд несъмнено е актуална.

Степен на познаване на състоянието на проблема и обща характеристика на дисертационния труд

Формулирани са следните задачи на дисертационната работа:

1. Модифициране на метод за подобряване на измерванията, неизползващ модел на измерването, базиран на рекурсивния метод на най-малките квадрати (РМНМК) с цел подобряване на динамичните измервания на променяща се във времето величина;

2. Разработване на метод, основан на Калманова филтрация, използващ модел на измерването, който зависи от измерваната величина;

Разработване на метод, неизползващ модел на измерването, базиран на ортогонален модел на Лагер, особено подходящ при апериодични измервателни процеси и особено икономичен от гледна точка на изчислителни ресурси при реализация в реално време;

Разработване на метод, неизползващ модел на измерването, базиран на ортогонален модел на Кауц, особено подходящ при колебателни измервателни процеси;

Разработване на методи за подобряване на измерванията, базирани на линейни многомоделни филтри за случая на зависим от измерваната величина модел на измерването. Метод с многомоделен филтър на Калман и метод с многомоделен H_∞ филтър.

Разработване на специализиран софтуер за реализация и симулационна проверка на разработените методи

Реализация на някои от методите в средата на промишлен програмируем логически контролер.

В глава 2 се предлага модифициран метод за подобрени динамични измервания на променяща се във времето величина, неизползващ модел на измервателния процес. Методът се основава на идеята за идентификация в реално време на нестационарна динамична система с модифициран модел – пълзяща средна стойност. Първоначално се извършва избор на структурните параметри на модела на базата на критерия на Акаике. Използва се модификация на рекурсивния метод на най-малките квадрати (РМНМК), която осигурява постоянна следа на ковариационната матрица на оценките на параметрите, при което се поддържа чувствителността на метода към промените в измерваната величина. Работата на метода е изследвана (симулационно) при няколко различни нива на измервателните шумове. Изследвано е и влиянието на реда на модела на процеса върху точността и скоростта на оценяването.

Извършено е сравнение на метода с метод, основан на стандартен филтър на Калман. Получените резултати показват предимството на предложения метод при подобряване на динамичното измерване на променяща се във времето маса. Предлага се за оценяването на променящата се във времето измервана величина да се използва модификация на РМНМК, която осигурява постоянна следа на ковариационната матрица. Следата на матрицата се поддържа постоянна за сметка на променлив във времето коефициент на забравяне. Правени са симулационни опити при различни начални стойности на ковариационната матрица, ред на модела и дисперсия на шума и различна оценявана температура и влиянието им върху функцията на загубите при оценяване с МРМНМК. Представени са сравнителни резултати от оценяване с МРМНМК и стандартен филтър на Калман.

В глава 3 е предложен метод за подобряване на динамичните измервания, основан на модифициран нелинеен филтър на Калман. За разлика от други методи, основани на модела на процеса на измерване, предложеният метод е приложим за измервания във времето, при които моделът на измерване зависи от самата измервана величина. Основната идея е, че в такива случаи задачата за оценка на неизвестната величина се преобразува в задача за оценка на състоянията на нелинейна автономна система. Като пример за приложението на този метод се разглежда подобряване на динамиката на измерването на променяща се във времето маса. Основната цел е да се увеличи скоростта и точността на процеса на измерване. За целите на сравнението е проектиран и стандартен линеен филтър на Калман за подобряване на динамиката на измерване, който е синтезиран за фиксирана стойност на неизвестната маса. Получените резултати потвърждават предимствата на предложения метод, основан на нелинеен филтър на Калман.

В глава 4 е посочен един от основните недостатъци на методите, използващи модел – нуждата от модел от висок ред при високо ниво на шума. Затова се пристъпва към безмоделни методи за оценка на измерваната величина. Цитирани са и работи на нашия колега доц. дн Камен Перев. Основният принос в тази глава е предложеният нов метод, неизползващ модел на измерването за подобряване на променящите се във времето динамични измервания, основан на ортогонален модел на Лагер. Този метод е подходящ за апериодични процеси на измерване. За разлика от съществуващите методи, не използващи модел, предложеният метод моделира процеса на измерване с ортогонален модел на Лагер вместо със специфичен модел с крайна импулсна характеристика. По този начин той съчетава предимствата на методите, не използващи модел и подхода в идентификацията, при който се използват ортогонални модели. В резултат на това, предложеният метод оценява измерваната величина бързо и точно с модел от по-нисък ред от оценения такъв при използване на конвенционален метод, неизползващ модел в случая на ниско съотношение на мощностите на полезния сигнал към шума. Извършено е онлайн оценяване на променяща се във времето измервана величина чрез модифициран линеен регресионен модел и рекурсивен алгоритъм на най-малките квадрати с постоянна следа на ковариационната матрица. Методът, предложен в тази глава, е валидиран с примери за измерване на температура и маса. При най-защумения вариант на измерване на маса се получават добри резултати при 7-ми ред на модела, който ред е значително по-нисък от този, използван от конвенционалния метод.

В глава 5 се пристъпва към използване на модифицирани модели на Кауц, подходящи при колебателен процес на измерване. За целта единствено е необходимо предварително да са известни доминиращите полюси на измервателния процес. Идеята при разглеждания метод е да се апроксимира траекторията на системата чрез ортогонални функции на Кауц, вместо да се използва представяне с крайна импулсна характеристика. Предложен е нов метод, неизползващ модел на измерването, основан на функции на Кауц, който подобрява динамиката на измерванията, които се променят във времето. Методът е особено приложим в случай на колебателен процес на измерване с високо съотношение на мощността на шума към тази на полезния сигнал. Основната разлика между предложения метод и конвенционалния метод неизползващ модел е типът модел, използван за представяне на динамиката на измерването. Конвенционалният метод, неизползващ модел, оценява един вид модел с ограничена импулсна характеристика, докато предложеният метод оценява ортогонален модел на Кауц. И при двата метода рекурсивният метод на най-малките квадрати с постоянна следа на ковариационната матрица извършва онлайн оценка на неизвестна измервана величина. Изследвана е зависимостта на оценката от параметъра на забравяне и реда на оценявания модел.

В глава 6 се предлага да се използва многомоделен филтър на Калман (МФК). При многомоделния подход за оценяване на състояния се използват успоредно работещи ФК за оценка на променяща се измервана величина. Разработен е софтуер в средата на MATLAB/Simulink, който реализира предложения метод за подобряване на измерванията с многомоделен филтър на Калман. В раздел 6.5. е представен разработеният метод за подобряване на динамиката на измерванията, основан на многомоделен H_∞ филтър, като е посочено, че при неточно известни статистически характеристики на шумовете и модела на обекта алтернатива на филтъра на Калман е H_∞ филтърът. Той представлява филтър за най-лошия случай, понеже се предполага, че шумовете са избрани така, че да се максимизира грешката в оценката на състоянието. Този филтър не изисква никакви предположения относно шумовете и представлява робастна версия на филтъра на Калман. Известно е, че филтърът на Калман е частен случай на H_∞ филтъра.

В литературата все още няма докладвани резултати за приложение на многомоделни H_∞ филтри за подобряване на динамиката на измерванията.

Предложени са също два нови метода, основани на многомоделен линеен филтър на Калман и на многомоделен линеен H_∞ филтър, които подобряват динамиката на променящи се във времето измервания. Методите са особено приложими в случай на измервателен процес, чийто модел зависи от измерваната величина, включително и за процеси с високо съотношение на шума към полезния сигнал (напр. при по-некачествени датчици). Получените резултати показват, че дори и само с 3 филтъра в моделната банка, алгоритмите подобряват значително динамиката на сензора.

Съответствие на предложената методика на изследване и поставените цели и задачи на дисертационния труд

Предмет на дисертационния труд е доразвиването на методи за оценяване на измервани величини, както е описано в предишната точка. За целта са взети известни математически инструменти от теорията на управлението (напр. H_∞ филтри, модели на Лагер и т. н.), които са комбинирани и приложени по подходящ начин, което съответства на поставените цели и задачи на дисертацията.

4. Оценка на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд

Както бе посочено в т. 2 на рецензията, дисертацията показва познаване на проблема и творческо решаване на поставените задачи. Доказателство за достоверността на материала са приложените симулационни примери, получени със специално създадени програмни решения.

5. Приноси на дисертационния труд

В дисертационния труд докторантката претендира за следните приноси:

- Предложен е модифициран метод за подобряване на измерванията в системи за управление, при който не се използва модел на процеса. Той е получен като съществуващ метод е доразвит за оценяване на променяща се във времето измервана величина. Предложеният модифициран метод е сравнен със стандартен филтър на Калман, настроен по модела на измервателния процес. Предложено е да се извършва обоснован избор на реда на оценявания модел на базата на информационния показател на Акаике. Изследвани са свойствата на метода при различни стойности на дисперсията на измервателния шум. Получените резултати показват предимствата на модифицирания метод за подобряване на измерванията, дори и при използване на сензори с по-нисък клас на точност.

- Предложен е метод за подобряване на динамиката на измерванията, базиран на модифициран разширен филтър на Калман. Този метод е особено приложим в случай на променяща се във времето измервана величина, когато моделът на измерване зависи от измерваната променлива. Работоспособността му е проверена за случая на подобряване на динамиката на измерване на маса, който е често срещан в практиката. Също така за целите на сравнението е проектиран линеен филтър

на Калман за фиксирана стойност на неизвестната маса. Получените резултати потвърждават предимствата на метода, базиран на разширения филтър на Калман пред метода, базиран на линейна Калманова филтрация.

- Предложен е метод, неизползващ модел за подобряване на променящите се във времето динамични измервания, базиран на ортогонален модел на Лагер. Този метод е подходящ за апериодични процеси на измерване. За разлика от съществуващите методи, не използващи модел, предложеният метод моделира процеса на измерване с ортогонален модел на Лагер вместо със специфичен модел от тип крайна импулсна характеристика. Предложеният метод оценява измерваната величина бързо и точно с модел от по-нисък ред от оценения такъв при използване на конвенционален метод неизползващ модел, особено при нисък клас на точност на сензора.

- Предложен е метод неизползващ модел, базиран на функция на Кауц, който подобрява динамиката на измерванията, които се променят във времето. Методът е особено приложим в случай на колебателен процес на измерване с високо съотношение шум към полезен сигнал. Основната разлика между предложения метод и конвенционалния метод неизползващ модел е типът модел, използван за представяне на динамиката на измерването. Получените резултати доказват работоспособността на базирания на функцията на Кауц метод и показват неговите предимства, като постигане на точна стойност на неизвестна измерена величина за кратко време (приблизително два пъти по-бързо от конвенционалния метод) с нисък ред на оценявания модел.

- Предложени са два нови метода, базирани на многомоделен линеен филтър на Калман и на многомоделен линеен H_∞ филтър, които подобряват динамиката на променящи се във времето измервания. Методите са особено приложими в случай на измервателен процес, чиито модел зависи от измерваната величина, включително и за процеси с високо съотношение шум към полезен сигнал (сензори с по-нисък клас на точност). Получените резултати показват, че дори и само с 3 филтъра в моделната банка, алгоритмите подобряват значително динамиката на сензора. Предложените методи представят възможности за бъдещи теоретични изследвания, свързани с броя на моделите в моделната банка, с различни алгоритми за определяне на тегловните коефициенти и др.

- За програмната реализация на предложените методи за подобряване на динамиката на измерванията е разработено софтуерно осигуряване в средата на MATLAB/Simulink

Приемам така описаните приноси.

6

Степен на личното участие на докторантката в приносите

За личното участие на докторантката съдя по публикуваните по дисертацията материали. Характерът на изследването предполага много добра и широка подготовка в областта на теорията на управлението и приложението ѝ в практиката. Считам, че докторантката се е справила успешно, като не поставям под съмнение личното ѝ участие в разработването на дисертационния материал.

Преценка на публикациите по дисертационния труд

По темата на дисертационния труд са направени 5 публикации – всичките в съавторство. Публикации № 1, 2 са с по трима съавтори и носят по 20/3 точки всяка от тях. Публикации № 3, 4, 5 се виждат в SCOPUS и Web of science и съответно носят по 40/3 точки всяка от тях. Така общият брой на точките по показател Г е 53, което надхвърля изискваните 30 точки. Публикациите отразяват по-съществените резултати, постигнати в дисертационния труд.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в науката и практиката

Не ми е известно за вече направено практическо приложение на дадените резултати. Това може да е предмет на бъдеща работа, включително от други колективи след популяризирането на тези резултати.

9. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му, както и на адекватността на отразяване на основните положения и приносите на дисертационния труд

Авторефератът отразява адекватно основните положения и приносите на дисертацията. Накрая има 1 страница резюме на английски. Съгласно изискванията, авторефератът не трябва да надхвърля 32 страници, точно колкото е даденият.

Мнения, препоръки и бележки

Следа на ковариационната матрица – ще е интересно да се изследва въпросът дали процесът на настройка на ковариационната матрица е винаги сходящ при различни начални стойности и с каква скорост.

Ще е интересно и полезно да се направи и реализация на някои от разгледаните методи в средата на промишлен програмируем логически контролер за практическо приложение.

3. Ще е интересно да се направи кратка заключителна класификация на предложените методи от гледна точка на тяхната изчислителна сложност за евентуално приложение и в нискостойностни средства за измерване и автоматизация.

. Прави впечатление сравнително големият брой цитирани публикации с автор докторантката и нейните ръководители.

. Заключение

Дисертацията съдържа 149 страници; общ брой фигури – 237; брой публикации по темата на дисертационния труд – 5, брой литературни източници – 93. Гореизброеното доказва, че докторантката има задълбочени познания в тематиката на проведените изследвания.

Съдържанието и приносите на дисертационния труд на маг. инж. Мирослава Барахарска покриват изискванията на Закона за развитие на академичния състав на Република България, на Правилника за неговото приложение и на Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в ТУ – София. Извършена е значителна по обем и съдържание изследователска работа. Има достатъчен брой научно-приложни и приложни приноси. Представени са достатъчен брой публикации по дисертацията, публикувани на престижни научни форуми. Безспорно е личното участие на докторантката в разработката и получените приноси. Не ми е известно за плагиатство. Това ми дава основание да препоръчам на Уважаемото Научно жури да присъди на маг. инж. Мирослава Барахарска образователната и научна степен „доктор“ в професионално направление 5.2. *Електротехника, електроника и автоматика*, научна специалност 02.21.10 *Приложение на принципите и методите на кибернетиката в различни области на науката*.

София, 20 декември 2024 г.

ИЗГОТВИЛ РЕЦЕНЗИЯТА:

mm

(доц. д-р Аспарух Марковски)

Върно с оригинала



by Assoc. Prof. Asparuh Markovski, PhD

on a dissertation work for the acquisition of the educational and scientific degree of *PhD*

with author *M.Sc. Engineer Miroslava Boncheva Baraharska*

entitled *Methods for improving the dynamics of measurements in control systems*

under the scientific supervision of Assoc. Prof. Tsonyo Slavov, PhD and Prof. Ivan Markovski, PhD

in a professional domain 5.2. *Electrical engineering, electronics and automation*

scientific specialty 02.21.10 *Application of the principles and methods of cybernetics in various fields of science*

1. Actuality of the dissertation

The aim of the dissertation is to further develop known methods – based on the use of a model and model-free – to improve the process of estimating an experimentally measured quantities. More precisely, the idea of evaluation with a standard Recursive Least-Squares Method is further developed, and a modified version of this method has been developed. A new method for improving measurement dynamics based on a nonlinear model is developed, where the idea arises to estimate its states with an Extended Kalman filter. A multi-model variant with standard Kalman filters and also with H_∞ filters has also been proposed, for which approach there is no data in the available literature. Extended estimation options with orthogonal Lager and Kautz models are considered and proposed. According to my data and the literature, this is an area that continues to develop. In this sense, the topic of the dissertation is undoubtedly relevant.

2. Degree of knowledge of the state of the problem and general characteristic of the dissertation work

The following tasks of the dissertation are formulated:

1. Modification of a measurement improvement method that does not use a measurement model based on Recursive Least Squares (RLS) to improve dynamic measurements of a time-varying quantity;
2. Development of a method based on Kalman filtration using a measurement model that depends on the measured quantity;
3. Development of a method that does not use a measurement model, based on an orthogonal Lager model, particularly suitable for aperiodic measurement processes and particularly economical in terms of computational resources when implemented in real time;
4. Development of a method that does not use a measurement model, based on an orthogonal Kautz model, particularly suitable for oscillatory measurement processes;
5. Development of measurement improvement methods based on linear multi-model filters for the case of a process-dependent measurement model. A multi-model Kalman filter method and a multi-model H_∞ filter method to be used;
6. Development of specialized software for implementation and simulation verification of the developed methods;
7. Implementation of some of the methods in the environment of an industrial programmable logic controller.

A modified method for improved dynamic measurements of a time-varying quantity that does not use a model of the measurement process is proposed in Chapter 2. The method is based on the idea of real-time identification of a time-variant dynamic system with a modified moving average model. Initially, the structural parameters of the model are selected based on Akaike's criterion. A modification of the Recursive Least-Squares Method (RLSM) is used, which provides a constant trace of the covariance matrix of the parameter estimates, while maintaining the sensitivity of the method to changes in the measured quantity. The performance of the method has been illustrated (by simulations) at several different measurement noise levels. The influence of the order of the process model on the accuracy and speed of the estimation was also investigated. A comparison of the method with a method based on a standard Kalman filter was performed. The obtained results show the advantage of the proposed method in improving the dynamic measurement of

time-varying mass. It is proposed to use a modification of Multi-Model RLSM to estimate the time-varying measured quantity, which provides a constant trace of the covariance matrix. The trace of the matrix is kept constant due to a time-varying forgetting factor. Simulation experiments have been performed at different initial values of the covariance matrix, model order and noise variance, and different evaluated temperature and their influence on the loss function when evaluated with Multi-Model RLSM. Comparative results of estimation with Multi-Model RLSM and standard Kalman filter are presented.

In Chapter 3, a method for improving dynamic measurements based on a modified nonlinear Kalman filter is proposed. Unlike other methods based on the measurement process model, the proposed method is applicable to time measurements where the measurement model depends on the measured quantity itself. The main idea is that in such cases the task of estimating the unknown quantity is transformed into the task of estimating the states of a nonlinear autonomous system. As an example of the application of this method, the improvement of the dynamics of the time-varying mass measurement is considered. The main goal is to increase the speed and accuracy of the measurement process. For comparison purposes, a standard linear Kalman filter is also designed to improve the measurement dynamics, which is synthesized for a fixed value of the unknown mass. The obtained results confirm the advantages of the proposed method based on a nonlinear Kalman filter.

Chapter 4 points out one of the main drawbacks of model-based methods – the need for a high-order model at a high level of noise. Therefore, model-free methods are used to estimate the measured quantity. The works of our colleague Assoc. Prof. DSc Kamen Perv are cited here. The main contribution of this chapter is the proposed new measurement model-free method for improving time-varying dynamic measurements based on an orthogonal Lager model. This method is suitable for aperiodic measurement processes. Unlike the existing non-model methods, the proposed method models the measurement process with an orthogonal Lager model instead of a specific finite impulse response model. Thus, it combines the advantages of model-free methods and the identification approach that uses orthogonal models. As a result, the proposed method estimates the measured quantity quickly and accurately with a lower-order model than that estimated using a conventional, model-free method in the case of low signal-to-noise powers. Online estimation of a time-varying measured quantity was performed using a modified linear regression model and a Recursive Least-Squares algorithm with a constant trace of the covariance matrix. The method proposed in this chapter is validated with examples of temperature and mass measurements. In the noisiest variant of the mass measurement, good results are obtained when the order of the model is 7, which order is significantly lower than that used by the conventional method.

Chapter 5 proceeds to the use of modified Kautz models suitable for an oscillatory measurement process. For this purpose, it is only necessary to know the dominant poles of the measurement process in advance. The idea in the considered method is to approximate the trajectory of the system by orthogonal Kautz functions instead of using a finite impulse response models. A new method, not using a measurement model based on Kautz functions, is proposed that improves the dynamics of time-varying measurements. The method is particularly applicable in the case of an oscillatory measurement process with a high ratio of the power of the noise to that of the useful signal. The main difference between the proposed method and the conventional model-free method is the type of model used to represent the measurement dynamics. The conventional model-free method estimates a kind of finite impulse response model, while the proposed method estimates an orthogonal Kautz model. In both methods, the recursive least-squares method with a constant trace of the covariance matrix performs online estimation of an unknown measured quantity. The dependence of the estimate on the forgetting parameter and the order of the evaluated model is investigated.

Chapter 6 suggests using a multi-model Kalman filter (MMFC). In the multi-model state estimation approach, FCs operating in parallel are used to estimate a changing measured quantity. Software has been developed in the MATLAB/Simulink environment, which implements the proposed measurement improvement method with a multi-model Kalman filter. In section 6.5 the developed method for improving the dynamics of measurements, based on a multi-model H_∞ filter, is presented, and it is indicated that, with imprecisely known statistical characteristics of the noise and the object model, an alternative to the Kalman filter is the H_∞ filter. It is a worst-case filter because the noises are assumed to be chosen to maximize the state

estimation error. This filter does not require any assumptions about the noise character and is a robust version of the Kalman filter. The Kalman filter is known to be a special case of the H_∞ filter.

No results have yet been reported in the literature for the application of multi-model H_∞ filters to improve the dynamics of measurements.

Two new methods based on a multi-model linear Kalman filter and a multi-model linear H_∞ filter are also proposed, which improve the dynamics of time-varying measurements. The methods are particularly applicable in the case of a measurement process whose model depends on the measured quantity, including for processes with a high noise/signal ratio (e.g. with poorer quality sensors). The obtained results show that even with only 3 filters in the model bank, the algorithms significantly improve the sensor dynamics.

3. Correspondence of the proposed research methodology and the goals and objectives of the dissertation work

The subject of the dissertation work is the further development of methods for evaluating measured quantities, as described in the previous point. For this purpose, well-known mathematical tools from control theory (e.g. H_∞ filters, Lager models, etc.) are taken, which are combined and applied in an appropriate way, which corresponds to the set goals and objectives of the dissertation.

4. Assessment of the credibility of the material on which the contributions of the dissertation work are based

As stated in item 2 of this review, the dissertation shows knowledge of the problem and creative solution to the tasks set. Proof of the credibility of the material are the attached simulation examples obtained with specially created software solutions.

5. Dissertation Contributions

In her dissertation, M.Sc. Eng. Miroslava Baraharska claims the following contributions:

- A modified method for improving measurements in control systems that does not use a process model is proposed. It was obtained as an existing method was further developed for estimating a time-varying measured quantity. The proposed modified method is compared with a standard Kalman filter tuned according to the measurement process model. It is proposed to make a reasoned choice of the order of the evaluated model based on Akaike's criterion. The properties of the method at different values of the measurement noise variance were investigated. The obtained results show the advantages of the modified method to improve the measurements, even when using sensors with a lower accuracy class.

- A method for improving the dynamics of measurements based on a modified extended Kalman filter is proposed. This method is particularly applicable in the case of a time-varying measured quantity, where the measurement model depends on the measured quantity. Its performance has been verified for the case of improving mass measurement dynamics, which is common in practice. Also for comparison purposes, a linear Kalman filter is designed for a fixed value of the unknown mass. The obtained results confirm the advantages of the method based on the extended Kalman filter over the method based on linear Kalman filter.

- A model-free method for improving time-varying dynamic measurements based on an orthogonal Lager model is proposed. This method is suitable for aperiodic measurement processes. Unlike the existing non-model methods, the proposed method models the measurement process with an orthogonal Lager model instead of a specific finite impulse response type model. The proposed method estimates the measured quantity quickly and accurately with a lower-order model than that estimated using a conventional model-free method, especially for a low sensor accuracy class.

- A model-free method based on a Kautz function is proposed that improves the dynamics of time-varying measurements. The method is particularly applicable in the case of an oscillatory measurement process with a high noise-to-signal ratio. The main difference between the proposed method and the conventional model-free method is the type of model used to represent the measurement dynamics. The

obtained results prove the workability of the Kautz function-based method and show its advantages, such as achieving an accurate value of an unknown measured quantity in a short time (approximately twice as fast as the conventional method) with a low order of the evaluated model.

- Two new methods based on a multi-model linear Kalman filter and a multi-model linear H_∞ filter are proposed, which improve the dynamics of time-varying measurements. The methods are particularly applicable in the case of a measurement process whose model depends on the measured quantity, including for processes with a high ratio of noise to useful signal (sensors with a lower accuracy class). The obtained results show that even with only 3 filters in the model bank, the algorithms significantly improve the sensor dynamics. The proposed methods present opportunities for future theoretical research related to the number of models in the model bank, with different algorithms for determining the weighting coefficients, etc.

- For the program implementation of the proposed methods for selecting the dynamics of the measurements, a software provision has been developed in the MATLAB/Simulink environment.

I accept contributions so described.

6. Degree of personal participation of the doctoral student in the contributions

The personal participation of the doctoral student is judged by the materials published on the dissertation. The nature of the study implies a very good and broad preparation in the field of Control Theory and its application in practice. I believe that the doctoral student has done well, and I do not doubt her personal involvement in the development of the dissertation material.

7. Assessment of dissertation publications

5 publications were made on the topic of the dissertation – all co-authored. Publications No. 1, 2 have three co-authors each and carry 20/3 points each. Publications #3, 4, 5 are visible in SCOPUS and Web of science and respectively carry 4/3 points each. Thus, the total number of points under the corresponding indicator is 53, which exceeds the required 30 points. Publications reflect the more substantial results achieved in the dissertation work.

8. Using the results of the dissertation work in science and practice

I am not aware of any practical application of the given results. This may be the subject of future work, including by other collectives after these results are publicized.

9. Assessment of the compliance of the abstract of the dissertation with the requirements for its preparation, as well as the adequacy of reflecting the main points and contributions of the dissertation work

The abstract adequately reflects the main points and contributions of the dissertation. There is a 1 page summary in English at the end. According to the requirements, the abstract should not exceed 32 pages, which is exactly the case here.

10. Opinions, recommendations and notes

1. Trace of the covariance matrix – it will be interesting to investigate whether the covariance matrix tuning process is always convergent for different initial values and at what rate.

2. It will be interesting and useful to implement some of the considered methods in the environment of an industrial programmable logic controller for practical application.

3. It will be interesting to make a brief final classification of the proposed methods in terms of their computational complexity for possible application in low-cost measurement and automation tools as well.

. The relatively large number of cited publications authored by the doctoral student and her supervisors should be noted.

11. Conclusion

The dissertation contains 149 pages total; number of figures – 237; enough tables and formulas; number of publications on the subject of the dissertation – 5, number of literary sources – 93. The above proves that the doctoral student has in-depth knowledge of the subject of the conducted research.

The content and contributions of the dissertation work of M.Sc. Eng. Miroslava Baraharska meet the requirements of the Law on the Development of the Academic Staff of the Republic of Bulgaria, the Regulations for its Application and the Regulations for the Conditions and Procedures for Acquiring Scientific Degrees at TU – Sofia. A considerable volume and content of research work has been carried out. There are a sufficient number of scientific and applied contributions. A sufficient number of dissertation publications published in prestigious scientific forums are presented. The personal participation of the doctoral student in the development and the contributions received cannot be denied. I am not aware of plagiarism. This gives me reason to recommend the Honorable Scientific Jury to award M.Sc. Eng. Miroslava Baraharska the educational and scientific degree "PhD" in professional field 5.2. *Electrical engineering, electronics and automation*, scientific specialty 02.21.10 *Application of the principles and methods of cybernetics in various fields of science*.

Sofia, December 20, 2024

Reviewer:

(Assoc. Prof. Asparuh Markovski, PhD)

Върно с оригинала

