

# ПОСТРОЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДРОБНОГО ПОРЯДКА С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ И НЕИЗВЕСТНЫМИ ВХОДАМИ

Куан Тай Ха

Ханойский университет науки, Вьетнамский национальный университет,  
Ханой (Вьетнам)

Статья посвящена задаче построения положительных функциональных наблюдателей для линейных положительных динамических систем дробного порядка с запаздыванием, входы которых неизвестны. Предложенные функциональные наблюдатели являются положительными, т.е. они гарантируют положительные оценки в произвольный момент времени. Кроме того, в терминах линейного программирования сформулированы необходимые и достаточные условия существования таких положительных функциональных наблюдателей.

Цель работы – построение положительных функциональных наблюдателей для линейных динамических систем дробного порядка с запаздыванием и неизвестными входами.

**Материал и методы.** Материалом исследования являются функциональные наблюдатели для линейных систем дробного порядка с запаздыванием. Используются методы математического анализа и линейной алгебры, а также численного моделирования.

**Результаты и их обсуждение.** Доказаны две теоремы. В теореме 1 утверждается, что исследуемый функциональный наблюдатель является положительным и линейным при определенных предположениях. В теореме 2 доказывается, что построенный наблюдатель восстанавливает матрицы наблюдения, если соответствующая задача линейного программирования разрешима. Также представлены три численных примера, демонстрирующих эффективность полученных результатов.

**Заключение.** Предложены новые методы построения функциональных наблюдателей состояния для линейных положительных систем дробного порядка с неизвестными входами. Получены условия существования таких наблюдателей, разработан вычислительный подход, базирующийся на задаче линейного программирования для определения матриц наблюдения. Также рассмотрен случай, когда в системе отсутствует запаздывание. Представлены три численных примера для иллюстрации эффективности полученных результатов.

**Ключевые слова:** системы дробного порядка, положительные системы, системы с запаздыванием, функциональные положительные наблюдатели состояния, линейное программирование, неизвестные входы.

# DESIGN OF LINEAR FUNCTIONAL STATE OBSERVERS FOR LINEAR POSITIVE FRACTIONAL-ORDER TIME-DELAY SYSTEMS WITH UNKNOWN INPUTS

Quan Thai Ha

Hanoi University of Science, Vietnam National University, Hanoi (Vietnam)

This paper addresses the problem of designing positive functional observers for linear fractional-order time-delay positive systems with unknown inputs. The proposed functional observers are positive, that is, they ensure that the estimates are nonnegative at any time. Moreover, necessary and sufficient conditions for the existence of such positive functional observers are formulated in terms of linear programming.

The purpose of the article is to design positive functional observers for linear fractional-order time-delay systems with unknown inputs.

**Material and methods.** Functional observers for linear fractional-order time-delay system were research materials. Methods of mathematical analysis, linear algebra and numerical simulation were used in the research.

**Findings and their discussion.** Two theorems are proved. Theorem 1 asserts that the observer we consider is a positive linear functional one under some conditions. Theorem 2 states that the observer gains observer matrices if corresponding LP problem is feasible. Three numerical examples are provided to demonstrate the effectiveness of obtained results.

**Conclusion.** New results for designing positive functional state observers for linear positive time-delay systems with unknown inputs are proposed. Conditions for the existence of positive functional observers are derived and computational approach based on LP is given for the determination of the observer matrices. The case where there is no time delay in the system is also discussed. Three numerical examples are given to illustrate the effectiveness of the proposed design method.

**Key words:** Fractional-order systems, positive systems, time-delay systems, functional positive observers, linear programming, unknown inputs.