Ссылка на статью:
// Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии. 2022, № 2, с. 49-57.
Поступила: 16.11.2022
Окончательный вариант: 25.11.2022
© УлГУ

УДК 004.94

Программный комплекс «Моделирование и оценивание траектории подвижного объекта»

Голубков А. В.

kr8589@gmail.com
УлГПУ им. И.Н. Ульянова, Ульяновск, Россия

Целью статьи является описание разработанного программного комплекса, позволяющего моделировать и оценивать параметры движения объекта по сложной траектории с обнаружением изменения и идентификацией режима движения. Программный комплекс написан на языке MATLAB, обладает графическим интерфейсом пользователя и может работать в пакетном режиме, обеспечивающим автоматизацию проведения экспериментов.

Ключевые слова: *математическое моделирование, программный комплекс, обработка траекторных измерений, MATLAB.*

Введение

В настоящее время методы математического и компьютерного моделирования траекторий движущихся объектов являются актуальном предметом научных исследований, поскольку применяются при решении таких практически важных задач, как задачи слежения за движущимися объектами, распознавания движущихся объектов, сопровождения целей, задачи судовождения и робототехники.

В случае, когда доступными для прямого наблюдения являются лишь неполные зашумленные данные о движущемся объекте, один из популярных подходов к решению задачи оценивания параметров движения заключается в применении методов нелинейной фильтрации [1].

Другой подход к решению задачи заключается в аппроксимации сложной (в общем случае, нелинейной) траектория движения объекта кусочно-линейной траекторией. Впервые идея применения дискретной линейной стохастической модели для решения задачи моделирования режима циркуляции морского подвижного объекта была предложена в [2] и затем получила свое развитие в [3–5].

Данный подход к моделированию движения объекта имеет следующие преимущества [6]:

1) В общем случае сложную траекторию движения объекта в условиях непредвиденного изменения режима движения сложно описать какой-либо конкретной математической моделью, пусть даже и нелинейной. В то же время любую сложную траекторию можно описать набором дискретных стохастических моделей для каждого возможного режима движения на отдельном отрезке траектории.

2) Режим кругового движения в первом приближении описывается нелинейной моделью. Но нелинейная модель при решении задачи параметрического оценивания требует применения нелинейного алгоритма фильтрации, имеющего неизбежные погрешности вычислений вследствие линеаризации исходной модели. Замена нелинейной модели на равноценную линейную, то есть моделирующую тот же режим кругового движения, позволяет применить для решения задачи параметрического оценивания оптимальные дискретные алгоритмы калмановской фильтрации [7], в том числе численно эффективные реализации фильтра Калмана [8].

Для решения задачи компьютерного моделирования траектории движущегося объекта в условиях неполных зашумленных измерительных данных о его движении, а также решения задачи параметрического оценивания модели движения объекта по сложной траектории с возможностью обнаружения изменения и идентификации режима движения объекта был разработан программный комплекс «Моделирование и оценивание траектории подвижного объекта» [9].

1. Описание программного комплекса

Программный комплекс состоит из набора функций и скриптов, разработанных на языке программирования MATLAB, реализующих основные алгоритмы и методы. Программный комплекс имеет дружественный пользователю графический интерфейс, реализованный в виде форм, выполненных в среде визуального программирования GUIDE.

Основные возможности программного комплекса:

- построение детерминированной или стохастической траектории движения объекта на основе гибридной модели [3],
- моделирование последовательности дискретных измерений в присутствии аддитивной случайной помехи [10],
- решение задачи параметрического оценивания модели движения объекта по сложной траектории с помощью алгоритмов оптимальной дискретной фильтрации [11, 12],

- оценивание вектора состояния гибридной стохастической модели движения объекта с помощью алгоритма дискретной фильтрации с возможностью обнаружения изменения и идентификации режима движения в известные моменты времени [13],
- визуализация процесса движения объекта по сложной траектории и статистическая обработка результатов.

К основным особенностям программного комплекса относятся:

- графический интерфейс пользователя,
- сохранение результатов в *.mat файлах с возможностью их последующей статистической обработки и построения графиков,
- возможность работы в пакетном режиме, обеспечивающая автоматизацию проведения экспериментов.

Графический интерфейс пользователя состоит из пяти диалоговых окон:

1) главное окно программы,
2) окно моделирования траектории,
3) окно моделирования зашумленных измерений,
4) окно оптимального оценивания параметров модели движения объекта,
5) окно оценивания траектории с обнаружением изменения и идентификацией режима движения в известные моменты времени.

1.1. Главное окно

На главном окне расположены кнопки, обеспечивающие доступ ко всем основным возможностям программного комплекса (рис. 1).

В качестве практического применения программного комплекса рассмотрим задачу адаптивного оценивания параметров движения объекта по сложной траектории. Предположим, что объект движется по траектории, состоящей из 4 участков:

1) равномерное прямолинейное движение (25 тактов дискретного времени),
2) поворот вправо с радиусом 5 (100 тактов),
3) равномерное прямолинейное движение (100 тактов),
4) поворот влево с радиусом 2 (50 тактов).

Пусть начальный вектор состояния $x_0 = [0; -1; 0; 1]^T$, коавриационная матрица шума в объекте $Q = \mathrm{diag}(10^{-7}; 10^{-8})$.

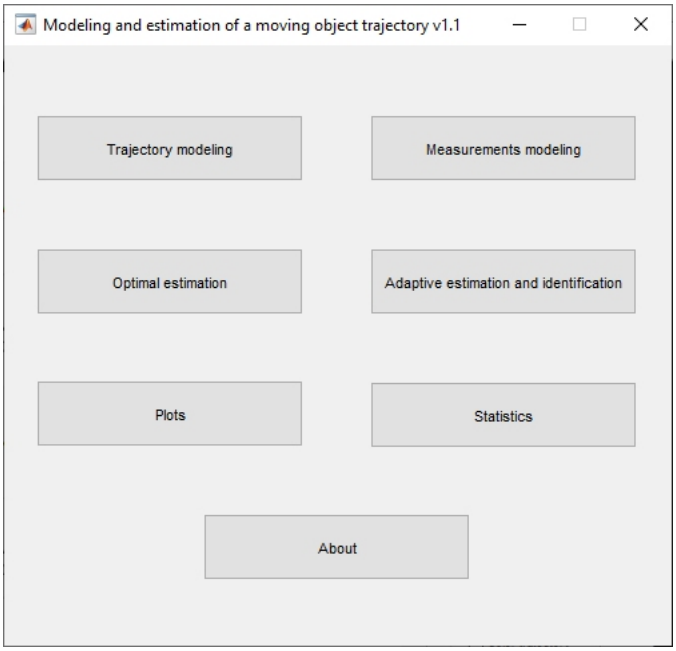

Рис. 1. Главное окно

1.2. Окно моделирования траектории

Данное окно предназначено для моделирования траектории движения объекта на основе гибридной стохастической модели [3]. В верхней части окна расположены графики, отображающие траекторию движения объекта на плоскости и изменение его координат (рис. 2). Параметры моделирования задаются элементами управления в группе Modeling parameters в нижней части окна. Схема движения объекта описывается в таблице Trajectory. Режим движения и его продолжительность задаются в столбцах Type и Length, соответственно.

1.3. Окно моделирования зашумленных измерений

В данном окне для предварительно смоделированных траекторий могут быть смоделированы зашумленные измерения (рис. 3). Перед запуском процесса моделирования необходимо в группе параметров Run с помощью кнопки Select files выбрать mat-файлы с предварительно смоделированными траекториям. Список выбранных файлов отображается в списке Files, а выбранная папка — в поле Folder.

Параметры измерений задаются в группе Measurements parameters. В списке Observable variables необходимо указать измеряемые переменные и задать соответствующую матрицу R ковариации шума в измерителе (таблица R).

Начальное значение для генератора случайных чисел задается в поле Seed.

Группа переключателей Plot options позволяет управлять процессом отображения траектории и измерений.

Кнопка START запускает процесс моделирования измерений. Для каждой траектории ее параметры отображаются в группе элементов Trajectory parameters в верхней части окна.

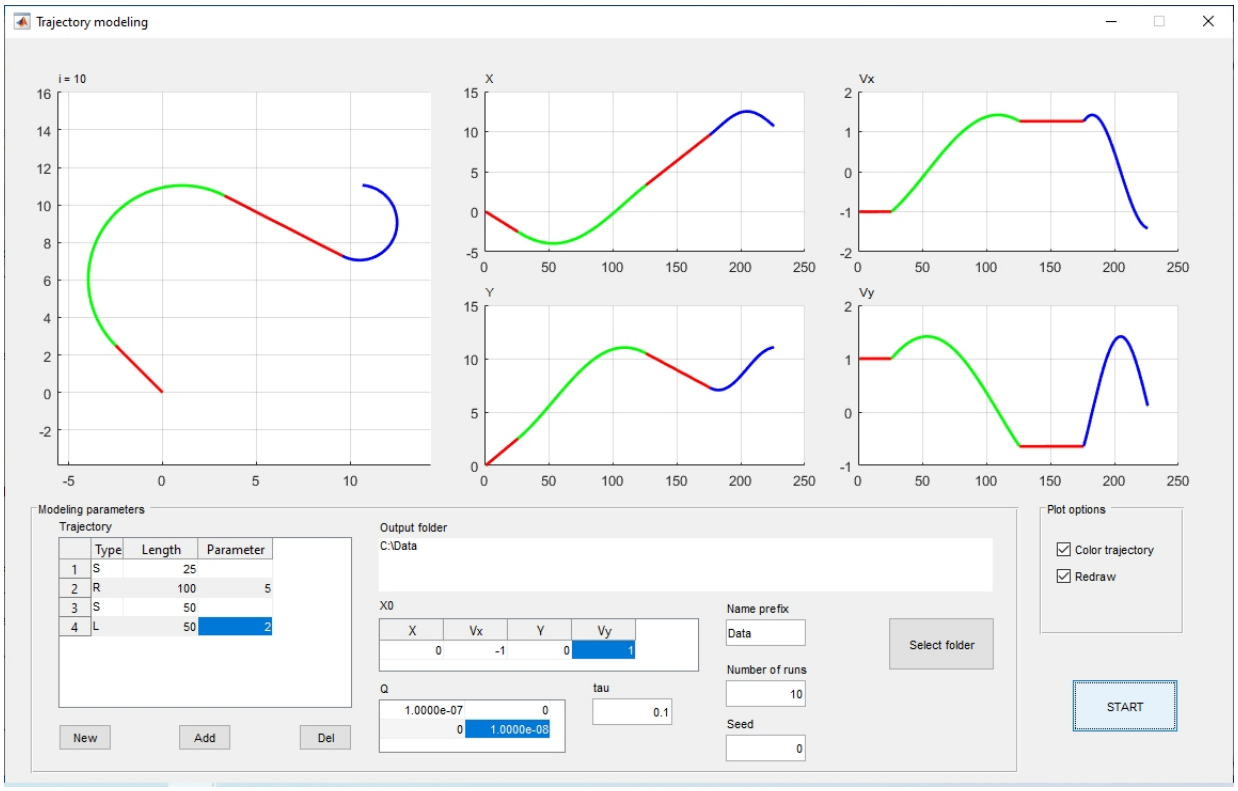

Рис. 2. Окно моделирования траектории

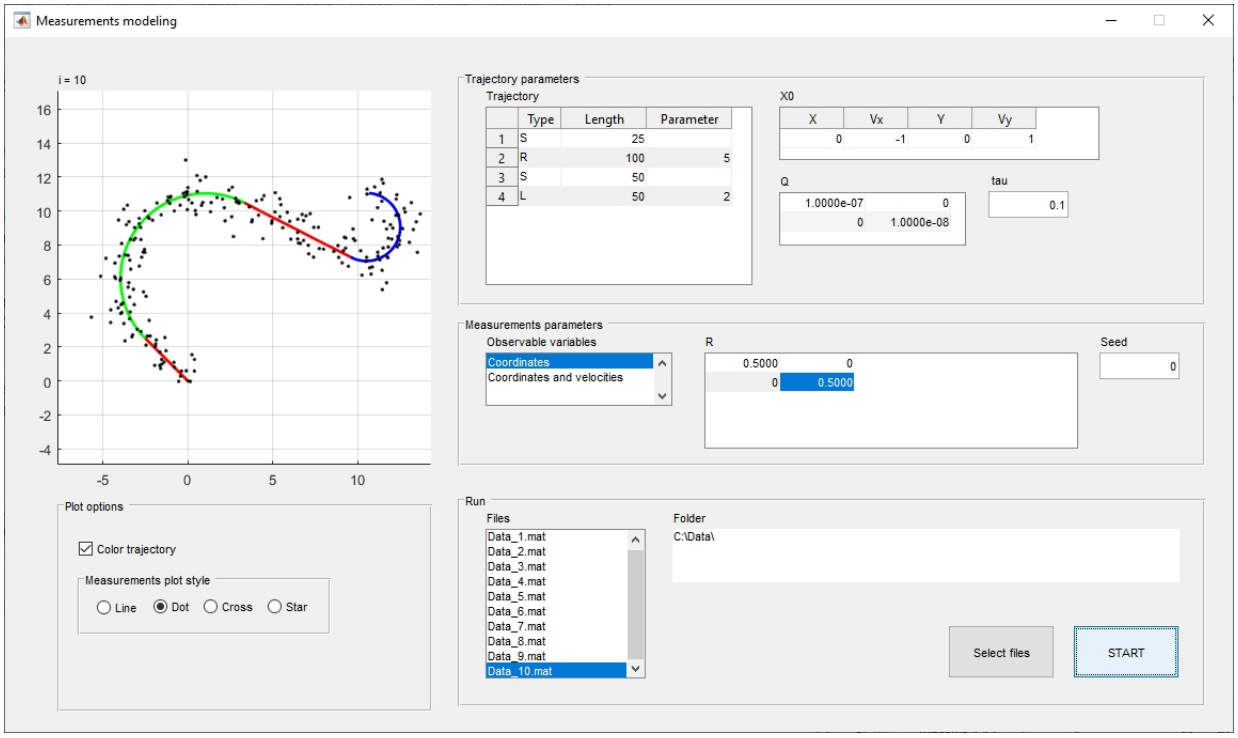

Рис. 3. Окно моделирования зашумленных измерений

1.4. Окно оптимального оценивания параметров модели движения объекта

В данном окне к предварительно смоделированным траекториям и зашумленным измерениям могут быть применены алгоритмы оптимального оценивания параметров линейной дискретной стохастической модели траектории движущегося объекта (рис. 4). Файлы с данными выбираются и отображаются в группе параметров Run, а параметры траекторий и измерений отображаются в группах Trajectory parameters и Measurements parameters.

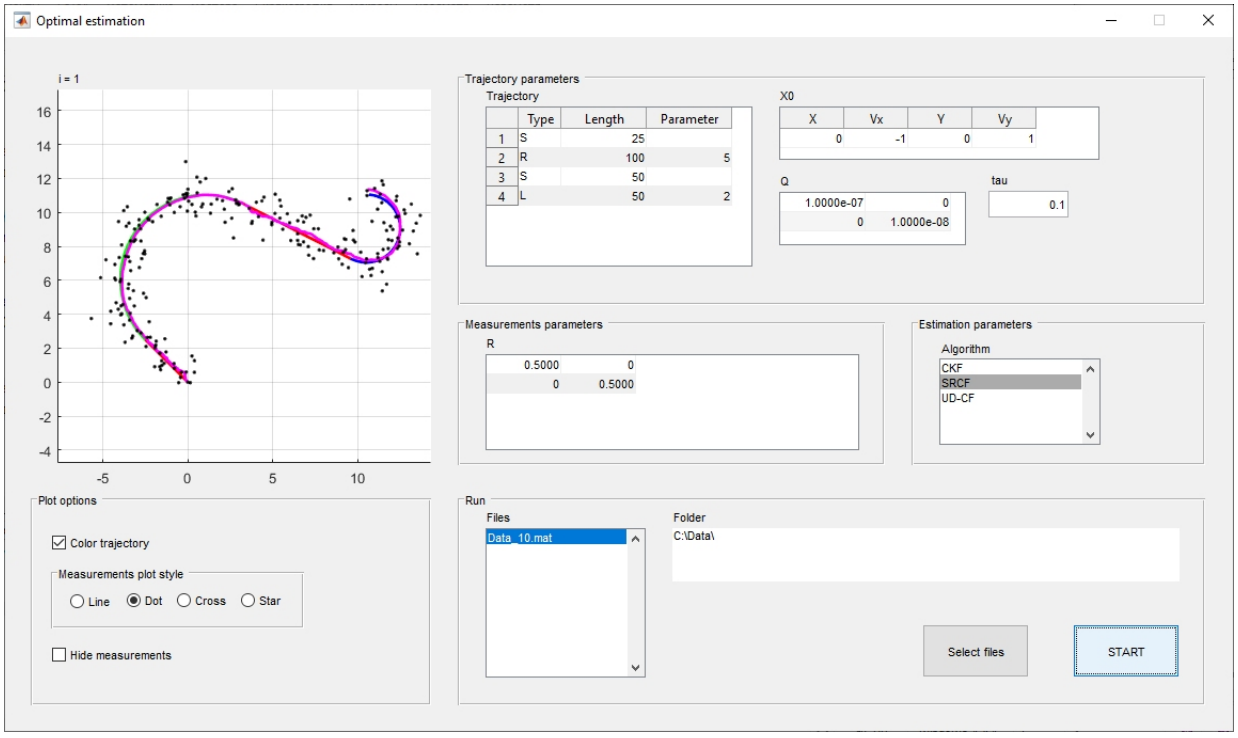

Рис. 4. Окно оптимального оценивания траектории

Нужный алгоритм оптимального оценивания выбирается из списка Algorithm в группе Estimation parameters. Доступны следующие алгоритмы оптимальной дискретной фильтрации:

- CKF — стандартный ковариационный фильтр Калмана [7],
- SRCF — квадратно-корневой ковариационный фильтр [14],
- UD-CF — ковариационный UD-фильтр [15].

1.5. Окно оценивания траектории с обнаружением изменения и идентификацией режима движения в известные моменты времени

В данном окне к предварительно смоделированным траекториям и зашумленным измерениям может быть применен реализованный алгоритм обнаружения изменения и идентификации режима движения объекта в известные моменты времени [10, 13].

Основные элементы управления аналогичны элементам окна оптимального оценивания траектории, но вместо группы параметров Estimation parameters имеется группа параметров Adaptive estimation parameters:

- alpha, beta — вероятность ошибки первого второго рода соответственно,
- r_min, r_max, n — минимальный радиус, максимальный радиус и количество альтернативных гипотез (фильтров) для левого и правого поворотов (рис. 5).

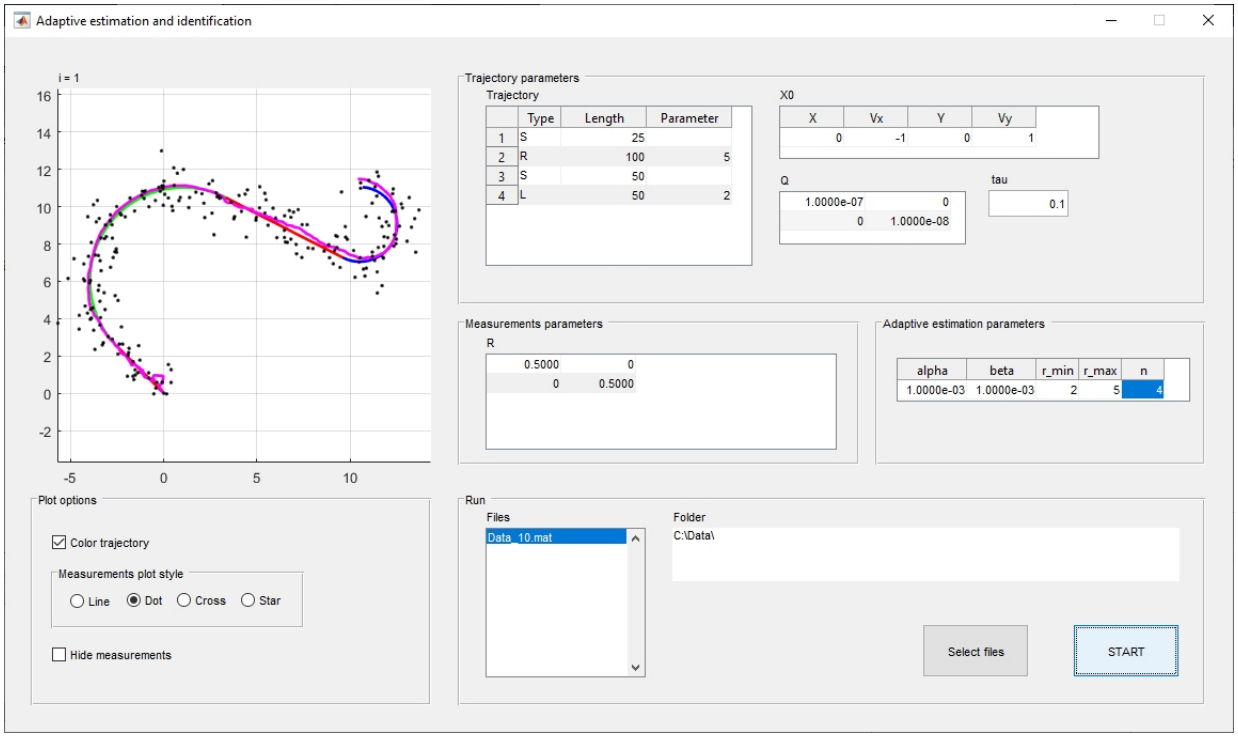

Рис. 5. Окно адаптивного оценивания траектории

Заключение

В статье представлен разработанный программный комплекс для моделирования и оценивания траектории подвижного объекта. Приложение предназначено для исследовании математических моделей движения и алгоритмов параметрического оценивания дискретных моделей линейных стохастических систем. Кроме того, программный комплекс «Моделирование и оценивание траектории подвижного объекта» может быть использован в качестве учебного программного средства для поддержки специальных дисциплин по направлениям бакалавриата и магистратуры математических и информационных специальностей, содержание которых непосредственно связано с математическим, компьютерным и имитационным моделированием систем и процессов.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20–31–90132 Аспиранты.

Список литературы

1. *Stochastic models, estimation and control*. Vol. 3. ed. Maybeck P.S. Series: Mathematics in Science and Engineering, v.141, part 3. Academic Press, 1982.

2. Семушин И. В., Кроливецкая Ю. М., Петрова Е. С. Ориентированная на фильтрацию Калмана математическая модель установившейся циркуляции для анализа траектории // *Автоматизация процессов управления*. 2013, т. 34, № 4, с. 14–20.

3. Семушин И. В., Цыганов А. В., Цыганова Ю. В. [и др.] Моделирование и оценивание траектории движущегося объекта // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Математическое моделирование и программирование»*. 2017, т. 10, № 3, с. 108–119. DOI: 10.14529/mmp170309.

4. Цыганов А. В., Семушин И. В., Цыганова Ю. В. [и др.] Метаэвристические алгоритмы в задаче идентификации параметров математической модели движущегося объекта // *Автоматизация процессов управления*. 2017, т. 47, № 1, с. 16–23.

5. Голубков А. В., Столярова И. В. Анализ гибридной стохастической модели движения объекта по сложной траектории // *Ученые записки УлГУ. Серия: Математика и информационные технологии*. 2019, № 2, с. 24–29.

6. Голубков А. В. Моделирование движения объекта по сложной траектории с обнаружением изменения и идентификацией режимов движения : дис. . . . к.ф.-м.н. Ульяновск, 2022. 154 с.

7. Grewal M. S., Andrews A. P. *Kalman filtering: Theory and Practice Using MATLAB* (4th edition). John Wiley & Sons, Inc., 2015. ISBN: 978-1-118-85121-0.

8. Цыганова Ю. В., Куликова М. В. О современных ортогонализованных алгоритмах оптимальной дискретной фильтрации // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование*. 2018, т. 11, № 4, с. 5–30. DOI: 10.14529/mmp180401.

9. Цыганов А. В., Цыганова Ю. В., Голубков А. В. Программный комплекс «Моделирование и оценивание траектории подвижного объекта v1.1». РОСПАТЕНТ. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018665161 от 03.12.2018 г.

10. Голубков А. В., Петрищев И. О., Цыганов И. О., Цыганова Ю. В. Диагностика режима движения объекта на основе гибридной модели // *Вестник НГИЭИ.* 2017, т. 79, № 12, с. 22–31.

11. Golubkov, A. V., Tsyganov A. V., Tsyganova Yu. V. Adaptive estimation of an object motion parameters based on the hybrid stochastic model // *Journal of Physics: Conference Series.* 2018, v. 1096, no. 1: 012166. DOI: 10.1088/1742-6596/1096/1/012166.

12. Голубков А. В., Цыганов А. В., Цыганова Ю. В. Адаптивное оценивание параметров движения объекта на основе гибридной стохастической модели // *Информационные технологии и нанотехнологии*: Сборник трудов ИТНТ-2018, Самара, 24–27 апреля 2018 года. Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева. Самара: Предприятие «Новая техника», 2018. С. 2064–2074.

13. Tsyganov A. V., Tsyganova Yu. V., Golubkov A. V., Petrishchev I. O. Adaptive estimation of a moving object trajectory using sequential hypothesis testing // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Математическое моделирование и программирование».* 2019, т. 12, № 1, с. 156–162. DOI: 10.14529/mmp190115.

14. Kailath T., Sayed A. H., Hassibi B. *Linear estimation.* New Jersey: Prentice Hall, 2000. 856 p.

15. Цыганова Ю. В. О методах реализации UD-фильтра // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки.* 2013, т. 27, № 3(27), с. 84–104.

The software package “Modeling and estimation of the trajectory of a moving object”

Golubkov, A. V.

kr8589@gmail.com

Ul’yanovsk State Pedagogical University, Ulyanovsk, Russia

The aim of this paper is to describe the developed software package, which allows modeling and estimating parameters of object motion along complex trajectory with detection of change and identification of motion mode. The software package is written in MATLAB language, has a graphical user interface and can work in batch mode, providing automation of experiments.

Keywords: *mathematical modeling, software package, trajectory measurement processing, MATLAB.*