

С. Л. Зенкевич, д-р физ.-мат. наук, проф., zenkev@bmstu.ru,  
Хуа Чжу, аспирант, zhuhua1302@gmail.com, Мэйсинь Чжай, аспирант, 982696853@163.com,  
Научно-учебный центр "Робототехника" МГТУ им. Н. Э. Баумана

## Один способ получения оценки сглаживания фазового вектора в задаче управления движением строя

*Сформулирована и решена задача оценки сглаживания с постоянным запаздыванием для непрерывных линейных динамических систем. Указана необходимость получения оценки сглаживания с постоянным запаздыванием при решении задачи управления движением группы мобильных роботов в строю типа "конвой". Описано разделение задачи оценивания фазового вектора систем на три класса: задачу сглаживания, задачу фильтрации и задачу предсказания. Суть задачи сглаживания состоит в том, что для определения оценки неизвестного вектора состояния систем в каждый момент времени  $\tau < t$  требуется учесть весь массив измерительной информации, полученный до момента времени  $t$ , тем самым используя в соответствующем алгоритме как "прошлые", так и "будущие" измерения. Указан ряд возможных проблем при использовании алгоритмов сглаживания с постоянным запаздыванием: во-первых, иногда система оказывается неустойчивой; во-вторых, для реализации алгоритма требуется знание фундаментальной матрицы (для линейных систем), что может вызвать определенные трудности. Получен рекуррентный алгоритм сглаживания с постоянным запаздыванием, в том числе алгоритм оценки сглаживания в закрепленной точке с использованием свойств фундаментальной матрицы линейной системы. Подчеркнуто преимущество полученных алгоритмов сглаживания, которое состоит в том, что метод позволяет обойти трудоемкий процесс вычисления фундаментальной матрицы системы. Обсужден и исследован процесс вычисления оценки сглаживания: по поступающим зашумленным измерениям параллельно проводятся процесс фильтрации и процесс сглаживания, таким образом, вычисление оценки сглаживания зависит от значения, полученного в процессе фильтрации. Приведены результаты численного моделирования для нестационарной линейной системы и нелинейных систем, которые показывают, что оценки сглаживания с постоянным запаздыванием быстрее сходятся к истинным значениям, чем оценки фильтрации; и неустойчивость оценки сглаживания при моделировании не появилась; с течением времени ошибки оценки сглаживания меньше, чем ошибки фильтрации.*

**Ключевые слова:** оценки сглаживания, постоянное запаздывание, непрерывная линейная система, управление движением строя типа "конвой"

### Введение

Важный шаг к решению задачи управления движением строя типа "конвой" [1] состоит в том, что в текущий момент времени необходимо получить оценки положения роботов в некоторые предшествующие моменты времени. Роботы в строю пронумерованы от  $R_0$  (ведущего робота) до  $R_N$  (замыкающего конвой). Стратегия управления для каждого ведомого робота  $R_i$  состоит в выполнении следующего соотношения:

$$\mathbf{x}_i(t) = \mathbf{x}_{i-1}(t - T),$$

где  $\mathbf{x}_i(t)$  представляет собой положение робота  $R_i$  в текущий момент;  $\mathbf{x}_{i-1}(t - T)$  — положение робота  $R_{i-1}$  в момент времени  $t - T$ .

Задачи оценивания фазового вектора разделяются на три класса: сглаживание (интерполяцию), фильтрацию и предсказание (экстраполяцию). Суть задачи сглаживания [2] состоит в том, что для определения оценки неизвестного вектора состояния системы в каждый момент времени  $\tau < t$  требуется учесть весь массив измерительной информации, полученный до момента времени  $t$ , тем самым используя в соответствующем алгоритме как "прошлые", так и "будущие" измерения.

Использование алгоритмов сглаживания сопряжено с рядом проблем:

1. Иногда система оказывается неустойчивой. В частности, этот эффект для линейных

систем продемонстрирован в работе [3]. Опыт авторов также подтвердил этот эффект.

2. Для реализации алгоритма требуется знание фундаментальной матрицы (для линейных систем), что может вызвать определенные трудности.

В настоящей работе предлагается способ получения оценки сглаживания состояния систем, решающий по крайней мере второй из указанных недостатков.

### Постановка задачи

Пусть поведение системы описывается системой линейных дифференциальных уравнений

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}(t)\mathbf{x}(t) + \boldsymbol{\eta}(t), \quad (1)$$

а измерения состояния системы описываются уравнением

$$\mathbf{z}(t) = \mathbf{H}(t)\mathbf{x}(t) + \boldsymbol{\xi}(t), \quad (2)$$

где  $\mathbf{A}(t)$  — матрица системы;  $\mathbf{H}(t)$  — матрица наблюдений;  $\boldsymbol{\eta}(t)$  и  $\boldsymbol{\xi}(t)$  — гауссовы белые шумы со следующими характеристиками:

$$E\boldsymbol{\eta}(t) = E\boldsymbol{\xi}(t) = E(\boldsymbol{\xi}(t)\boldsymbol{\eta}^T(t)) = 0;$$

$$E(\boldsymbol{\eta}(t)\boldsymbol{\eta}^T(t')) = \mathbf{Q}(t)\delta(t - t');$$

$$E(\boldsymbol{\xi}(t)\boldsymbol{\xi}^T(t')) = \mathbf{R}(t)\delta(t - t'),$$

где  $E$  — математическое ожидание;  $\mathbf{Q}(t)$ ,  $\mathbf{R}(t)$  — матрица ковариации шумов;  $t'$  — момент времени.

Задача состоит в получении оценки  $\hat{\mathbf{x}}(\tau|t)$ ,  $\tau = t - T$ ,  $T = \text{const} > 0$ . Это означает, что в каждый момент времени необходимо знать, где была система заданный временной интервал  $T$  назад. Как будет показано ниже, алгоритм получения оценки  $\hat{\mathbf{x}}(\tau|t)$  включает в себя в качестве составных частей алгоритмы фильтрации и сглаживания в закрепленной точке.

### Алгоритм сглаживания в закрепленной точке

Оценка сглаживания в закрепленной точке  $\hat{\mathbf{x}}(t_0|t)$ , т. е. наилучшая оценка вектора состояния системы на момент время  $t = t_0$ , имеет вид [4]

$$\hat{\mathbf{x}}(t_0|t) = \Phi(t_0, t)\hat{\mathbf{x}}(t), \quad (3)$$

где  $\hat{\mathbf{x}}(t_0)$  — оценка, полученная в результате применения метода теории рекуррентной фильтрации Калмана;  $\Phi(t_0, t)$  — фундаментальная матрица системы (1). Как говорилось в работе [5], использование уравнения (3) сопряжено с трудностями, возникающими при нахождении фундаментальной матрицы. Далее предложен метод нахождения оценки сглаживания, позволяющий обойти процедуру поиска  $\Phi(t_0, t)$ .

Приведем некоторые свойства фундаментальной матрицы, которые понадобятся в дальнейшем:

$$\frac{\partial \Phi(t_1, t_2)}{\partial t_1} = \mathbf{A}(t_1)\Phi(t_1, t_2); \quad (4)$$

$$\frac{\partial \Phi(t_1, t_2)}{\partial t_2} = -\Phi(t_1, t_2)\mathbf{A}(t_2), \quad (5)$$

здесь  $t_1, t_2$  — моменты времени.

Дифференцируя соотношение (3) по времени  $t$ , получим

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}}(t_0|t) = \dot{\Phi}(t_0, t)\hat{\mathbf{x}}(t) + \Phi(t_0, t)\dot{\hat{\mathbf{x}}}(t). \quad (6)$$

Подставляя в соотношение (6) найденное с использованием свойства (5) выражение  $\dot{\Phi}(t_0, t) = -\Phi(t_0, t)\mathbf{A}(t)$ , а также известное выражение для оценки фильтрации  $\dot{\hat{\mathbf{x}}}(t)$ , после несложных преобразований получим

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}}(t_0|t) = \Phi(t_0, t)\mathbf{P}(t)\mathbf{H}^T(t)\mathbf{R}^{-1}(\mathbf{z}(t) - \mathbf{H}(t)\hat{\mathbf{x}}(t)), \quad (7)$$

где  $\mathbf{P}(t)$  — матрица ковариации ошибки оценки фильтрации.

Введем матрицу  $\mathbf{L}'(t)$ , связанную с матрицей  $\mathbf{P}(t)$ , следующим образом:

$$\mathbf{L}'(t) = \Phi(t_0, t)\mathbf{P}(t). \quad (8)$$

Дифференцируя соотношение (8) по времени  $t$ , с учетом известного уравнения Риккати для  $\dot{\mathbf{P}}(t)$  после несложных преобразований получим

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{L}}'(t) = & \mathbf{L}'(t)\mathbf{A}^T(t) - \\ & - \mathbf{L}'(t)\mathbf{H}^T(t)\mathbf{R}^{-1}\mathbf{H}(t)\mathbf{P}(t) + \mathbf{L}'(t)\mathbf{P}^{-1}(t)\mathbf{Q}. \end{aligned} \quad (9)$$

Таким образом, в состав выражения для оценки  $\dot{\hat{\mathbf{x}}}(t_0|t)$  не входит фундаментальная матрица  $\Phi(t_0, t)$ , а кроме того, оценки возможно

осуществлять в реальном времени. Начальные условия для интегрирования системы (7) и (9) совпадают с условиями рекуррентной фильтрации, т. е.  $\hat{\mathbf{x}}(t_0|t_0) = \hat{\mathbf{x}}(t_0)$ ,  $\mathbf{L}'(t_0) = \Phi(t_0, t_0)\mathbf{P}(t_0) = \mathbf{P}(t_0)$ .

### Алгоритм сглаживания с постоянным запаздыванием

Аналогично, оценка сглаживания с постоянным запаздыванием  $\hat{\mathbf{x}}(\tau|t)$ , т. е. наилучшая оценка вектора состояния системы на момент время  $\tau = t - T$  имеет вид

$$\hat{\mathbf{x}}(\tau|t) = \Phi(\tau, t)\hat{\mathbf{x}}(t). \quad (10)$$

Дифференцируя соотношение (10) по времени  $t$ , получим

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}}(\tau|t) = \dot{\Phi}(\tau|t)\hat{\mathbf{x}}(t) + \Phi(\tau|t)\dot{\hat{\mathbf{x}}}(t). \quad (11)$$

В отличие от  $\Phi(t_0, t)$  первый аргумент  $\Phi(\tau, t)$  тоже зависит от времени  $t$ , таким образом, ее полная производная имеет вид

$$\begin{aligned} \dot{\Phi}(\tau, t) &= \frac{\partial \Phi(\tau, t)}{\partial \tau} \frac{d\tau}{dt} + \frac{\partial \Phi(\tau, t)}{\partial t} = \\ &= \mathbf{A}(\tau)\Phi(\tau, t) - \Phi(\tau, t)\mathbf{A}(t). \end{aligned} \quad (12)$$

Подставляя в соотношение (11) найденное выражение для полной производной фундаментальной матрицы, а также известное вы-

ражение для оценки фильтрации  $\hat{\mathbf{x}}(t)$ , после несложных преобразований получим оценки сглаживания с постоянным запаздыванием:

$$\begin{aligned} \dot{\hat{\mathbf{x}}}(\tau|t) &= \mathbf{A}(\tau)\hat{\mathbf{x}}(\tau|t) + \\ &+ \mathbf{L}(t)\mathbf{H}^T(t)\mathbf{R}^{-1}(\mathbf{z}(t) - \mathbf{H}(t)\hat{\mathbf{x}}(t)). \end{aligned} \quad (13)$$

Заметим, что матрица  $\mathbf{L}(t) = \Phi(\tau, t)\mathbf{P}(t)$  не является матрицей ковариации ошибки сглаживания. Дифференцируя ее по времени  $t$ , с учетом известного уравнения Риккати для  $\dot{\mathbf{P}}(t)$  после несложных преобразований получим

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{L}}(t) &= \mathbf{A}(\tau)\mathbf{L}(t) + \mathbf{L}(t)\mathbf{A}^T(t) - \\ &- \mathbf{L}(t)\mathbf{H}^T(t)\mathbf{R}^{-1}\mathbf{H}(t)\mathbf{P}(t) + \mathbf{L}(t)\mathbf{P}^{-1}(t)\mathbf{Q}. \end{aligned} \quad (14)$$

При интегрировании уравнений (13) и (14) необходимо определить значение  $\hat{\mathbf{x}}(\tau|t)$  и  $\mathbf{L}(t)$  при  $t \leq t_0 + T$ . Обсудим это в следующей части.

### Процесс вычисления оценки сглаживания с постоянным запаздыванием

На рис. 1 показана структурная схема вычисления оценки сглаживания. Как видно, по поступающим зашумленным измерениям параллельно проводятся процессы фильтрации и сглаживания, и вычисление оценки сглаживания зависит от значений, полученных в процессе фильтрации. Коэффициенты фильтрации  $\mathbf{K}_1(t)$  и коэффициенты сглаживания  $\mathbf{K}_2(t)$ ,  $\mathbf{K}_3(t)$  в схеме имеют вид

$$\mathbf{K}_1(t) = \mathbf{P}(t)\mathbf{H}^T(t)\mathbf{R}^{-1};$$

$$\mathbf{K}_2(t) = \mathbf{L}'(t)\mathbf{H}^T(t)\mathbf{R}^{-1};$$

$$\mathbf{K}_3(t) = \mathbf{L}(t)\mathbf{H}^T(t)\mathbf{R}^{-1},$$

где  $\mathbf{P}(t)$  получаются решением уравнения Риккати;  $\mathbf{L}'(t)$ ,  $\mathbf{L}(t)$  получаются решением уравнений (9) и (14) соответственно.

Заметим, что до момента времени  $t = t_0 + T$  в процессе сглаживания вычисляется  $\hat{\mathbf{x}}(\tau|t) = \hat{\mathbf{x}}(t_0|t)$  и  $\mathbf{L}(t) = \mathbf{L}'(t)$ .

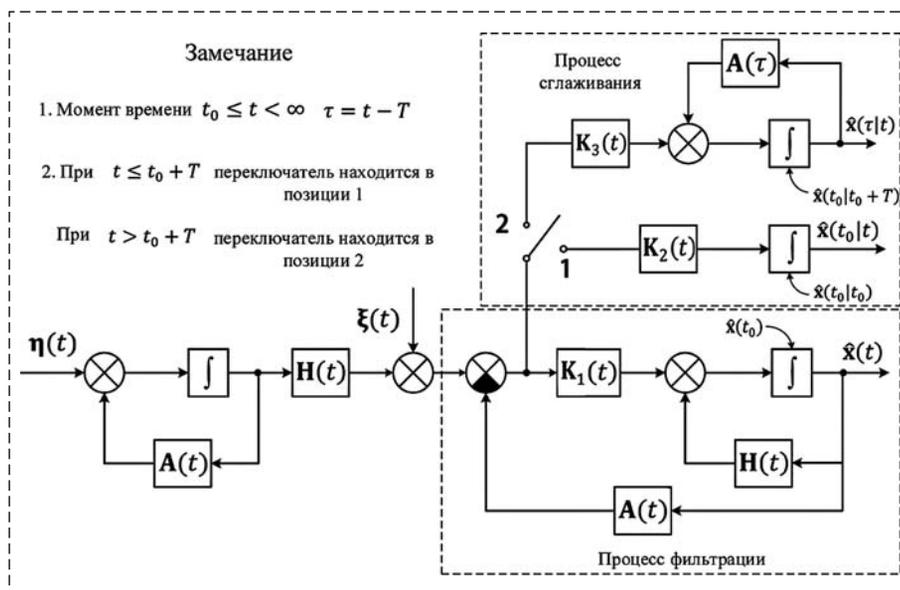


Рис. 1. Структурная схема вычисления оценки сглаживания с постоянным запаздыванием для линейной непрерывной системы

## Экспериментальное исследование

### ▲ Линейная нестационарная система

Рассмотрим линеаризованное уравнение движения математического маятника в среде с вязкостью, изменяющейся по гармоническому закону (пример в работе [4]):

$$\ddot{\varphi} + \dot{\varphi} \sin(0,08t) + \varphi = 0.$$

Матрица системы имеет вид

$$\mathbf{A}(t) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -\sin(0,08t) \end{pmatrix}; \mathbf{x}(t) = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varphi(t) \\ \dot{\varphi}(t) \end{pmatrix}.$$

Измеряемой координатой считаем только угол отклонения маятника:

$$\mathbf{z}(t) = \mathbf{H}(t)\mathbf{x}(t) + \xi(t); \mathbf{H}(t) = (1 \ 0).$$

При моделировании время запаздывания  $T = 2$  с, начальные условия  $\mathbf{x}(t_0) = (1, 1)^T$ ,  $\hat{\mathbf{x}}(t_0) = (0, 0)^T$ , полученные результаты показаны на рис. 2 и рис. 3, 4 (см. вторую сторону обложки). Как видно, оценки сглаживания с постоянным запаздыванием быстрее сходятся к истинным значениям, чем оценки фильтрации, кроме того, неустойчивость оценки сглаживания при моделировании не появилась. С течением времени ошибки оценки сглаживания становятся меньше, чем ошибки фильтрации.

### ▲ Нелинейная система

Теперь рассмотрим применение предложенного метода в задаче управления движением строя типа "конвой" [1], одной подзадачей которого является задача локализации. В этом случае мы используем сами роботы в виде подвиж-

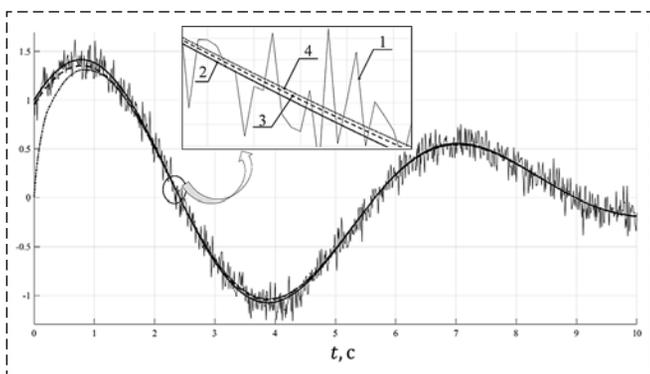


Рис. 2. Фазовая координата  $\varphi(t)$ :

1 — измеренное значение координаты  $\varphi(t)$ ; 2 — истинное значение  $\varphi(t)$ ; 3 — оценка сглаживания; 4 — оценка фильтрации

ных указателей для осуществления локализации роботов, и требуется выполнение трех условий:

- знание глобального положения ведущего робота;
- знание положения ведущего робота относительно ведомого;
- возможность передавать информацию о положении ведомому роботу (рис. 5, см. вторую сторону обложки).

Используя эту информацию, каждый робот определяет собственное положение в абсолютной системе координат. В процессе решения задачи управления движением каждого робота строя возникает проблема определения собственного положения каждого робота  $R_{i-1}$  относительно  $R_i$ . В лабораторных условиях эта проблема может быть решена путем установки систем зрения, определяющих декартовы координаты всех членов конвоя, что является невозможным при движении роботов в открытом пространстве.

Рассмотрим решение следующей задачи: по измерениям, проводимым лазерным сканером, требуется определить положение робота  $R_{i-1}$  относительно  $R_i$  ( $x_{i-1}^i, y_{i-1}^i, \theta_{i-1}^i$ ) в системе координат робота  $R_i$  (рис. 5, см. вторую сторону обложки). Для упрощения записи далее ( $x_{i-1}^i, y_{i-1}^i, \theta_{i-1}^i$ ) будем обозначать через  $(x, y, \theta_r)$ .

Уравнение движения робота  $R_{i-1}$  в связанной системе координат  $O_r X_i Y_i$  робота  $R_i$  имеет вид

$$\begin{cases} \dot{x} = \omega^i y - v^i + v^{i-1} \cos \theta_r; \\ \dot{y} = -\omega^i x + v^{i-1} \sin \theta_r; \\ \dot{\theta}_r = \omega^{i-1} - \omega^i. \end{cases}$$

Очевидно, это уравнение описывает движение нелинейной системы

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)),$$

где  $\mathbf{x}(t) = (x, y, \theta_r)^T$ ,  $\mathbf{u}(t) = (\omega^{i-1}, v^{i-1}, \omega^i, v^i)^T$ .

Уравнение измерений имеют вид

$$\mathbf{z}(t) = \mathbf{H}(t)\mathbf{x}(t) + \xi(t); \mathbf{H}(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

В соответствии с предложенным в работе [1] законом управления алгоритм сглаживания с постоянным запаздыванием может быть использован в этом случае, т. е. в каждый момент времени по измерениям  $\mathbf{z}(t)$  мы получаем оценки  $\hat{\mathbf{x}}(t-T) = (\hat{x}(t-T), \hat{y}(t-T), \hat{\theta}_r(t-T))^T$ .

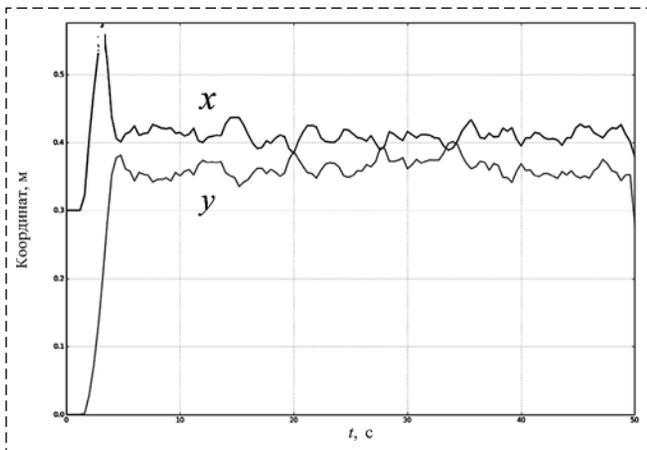


Рис. 7. Координаты робота

Линеаризованное вдоль оценки уравнение движения имеет вид

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}(t)\mathbf{x}(t),$$

где

$$\mathbf{A}(t) = \left. \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{x}} \right|_{\hat{\mathbf{x}}(t), \mathbf{u}(t)} = \begin{pmatrix} 0 & \omega^i(t) & -v^{i-1}(t)\sin\hat{\theta}_r \\ -\omega^i(t) & 0 & v^{i-1}(t)\cos\hat{\theta}_r \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Эксперимент проводился с участием двух роботов в среде ROS (рис. 6, см. вторую сторону обложки). Робот  $R_{i-1}$  совершал движение

со скоростью  $v^{i-1} = 0,2$  м/с;  $\omega^{i-1} = 0,5$  рад/с, а робот  $R_i$  повторял траекторию робота  $R_{i-1}$  с запаздыванием  $T = 2$  с. Соответствующие графики показаны на рис. 7. Видео движения двух роботов и коды для осуществления алгоритма сглаживания в среде ROS представлены в [6].

## Заключение

В работе предложен рекуррентный алгоритм вычисления оценки сглаживания с постоянным запаздыванием. Преимущество этого способа заключается в том, что в процессе вычислений не используется фундаментальная матрица.

## Список литературы

1. **Зенкевич С. Л., Чжу Хуа** Управление движением группы роботов в строю типа "конвой" // Мехатроника, автоматизация, управление. 2017. № 1. С. 30–34.
2. **Александров В. В.** и др. Оптимизация динамики управляемых систем. М.: Изд-во МГУ, 2000. 304 с.
3. **Meditch J. S.** On optimal linear smoothing theory // Information and control. 1967. № 10. P. 598–615.
4. **Абгарян К. А.** Матричное исчисление с приложениями в теории динамических систем. М.: Физматлит, 1994. 544 с.
5. **Зенкевич С. Л., Заединов Р. В.** Об оценке предсказания фазового вектора непрерывных линейных динамических систем // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. "Приборостроение". 2002. № 3. С. 72–80.
6. URL: <https://www.dropbox.com/sh/irekgv6ch2fhj0s/AADkiUXSpvoBv6sJJ4Zk3C-На?dl=0>

## One Way to Obtain the Smoothed Estimate of Phase Vector in the Task of Motion Control of Convoy Robots

**S. L. Zenkevich**, zenkev@bmstu.ru, **Hua Zhu**, zhuhua1302@gmail.com, **Meixin Zhai**, 982696853@163.com, Robotics Training-Research Center, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation

Corresponding author: **Zhu Hua**, Ph. D., Robotics Training-Research Center, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation, e-mail: zhuhua1302@gmail.com

Accepted on February 05, 2018

*In this paper, we formulated and solved the problem of fixed-lag smoothing estimation for continuous linear dynamical systems. The problems of other fixed-lag smoothing algorithm for continuous linear dynamical systems are indicated. Firstly, sometimes the fixed-lag smoothing algorithm is not stable. Secondly, the knowledge of state transition matrix is needed to implement algorithm. It is different to get it, especially for time-vary system. An algorithm is developed for generating the optimal smoothed estimate  $\hat{\mathbf{x}}(t-T|t)$  of the state  $\mathbf{x}(t)$  of a continuous linear system, where  $t$  is the most recent measurement and  $T$  is a positive real constant. The recurrent algorithm is obtained using the properties of state transition matrix  $\Phi(t_1, t_2)$  of a linear dynamical system. The developed method makes it possible to bypass the time-consuming procedure of finding state-transition matrix. The process of computing the fixed-lag smoothed estimate is discussed in terms of the algorithm's dependence on the solutions of the filtering and fixed-point smoothing problems. Therefore, the calculation of the estimation of fixed-lag smoothing depends on the value obtained during the filtering process. We give the simulation result of fixed-lag smoothing algorithms for a nonstationary linear system and compared it with the simulation result of filtering algorithms. It is showed that the estimation errors of fixed-lag smoothing are less than the estimation errors of filtering. We also used the fixed-lag smoothing algorithms to improve the localization accuracy of robots in the task of motion control of convoy robots. A node named `fix_lag_smoothing` is written using C++ in ROS.*

**Keywords:** smoothed estimate, fixed-lag smoothing, continuous linear system, motion control of convoy robots

For citation:

Zenkevich S. L., Zhu Hua, Zhai Meixin. One way to obtain the smoothed estimate of phase vector in the task of motion control of convoy robots, *Mekhatronika, Avtomatizatsia, Upravlenie*, 2018, vol. 19, no. 7, pp. 458–463.

DOI: 10.17587/mau.19.458-463

#### References

1. Zenkevich S. L., Zhu Hua. *Upravlenie dvizheniem gruppy robotov v stroju tipa "konvoj"* (Control of a group of mobile robots moving in the convoy type formation), *Mekhatronika, Avtomatizatsia, Upravlenie*, 2017, no. 1, pp. 30–34 (in Russian).

2. Aleksandrov V. V. i dr. *Optimizacija dinamiki upravljajemyh sistem* (Optimization of the dynamics of control systems), Moscow, Publishing house of MSU, 2000, 304 p. (in Russian).

3. Meditch J. S. On optimal linear smoothing theory, *Information and Control*, 1967, no. 10, pp. 598–615.

4. Abgarjan K. A. *Matrichnoe ischislenie s prilozhenijami v teorii dinamicheskikh sistem* (Matrix calculus with applications in the theory of dynamical systems), Moscow, Fizmatlit, 1994, 544 p. (in Russian).

5. Zenkevich S. L., Zaedinov R. V. *Ob ocenke predskazanija fazovogo vektora nepreryvnykh linejnykh dinamicheskikh sistem* (On the prediction estimate of phase vector for continuous linear dynamical systems), *Vestnik MGTU im. N. Je. Baumana. Ser. "priborostroenie"*, 2002, no. 3, pp. 72–80 (in Russian).

6. Available at: <https://www.dropbox.com/sh/irekgv6ch2fhj0s/AADkiUXSpvoBv6sJJ4Zk3C-Ha?dl=0>



2—4 октября 2018 г. в Санкт-Петербурге  
в ГНЦ РФ АО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор"  
состоится

## 11-я Российская мультиконференция ПО ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ (РМКПУ—2018)



Мультиконференция включает в себя три конференции, объединенные общей идеей:

- XXXI конференция памяти выдающегося конструктора гироскопических приборов Н. Н. Острякова (<http://www.elektropribor.spb.ru/ostr2018>)
- Конференция «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2018) (<http://www.elektropribor.spb.ru/itu2018>)
- Конференция «Управление в морских и аэрокосмических системах» (УМАС-2018) (<http://www.elektropribor.spb.ru/umas2018>)

### Конференция «УПРАВЛЕНИЕ В МОРСКИХ И АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ» (УМАС—2018) НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОНФЕРЕНЦИИ

- Использование достижений современной теории управления в задачах управления авиационными, ракетно-космическими и морскими подвижными объектами и комплексами
- Человек-оператор в морских и аэрокосмических системах
- Системы ориентации и стабилизации авиационных и ракетно-космических объектов
- Управление беспилотными аппаратами в различных средах
- Бортовые компьютерные системы и сети для управления космическими аппаратами и морскими подвижными объектами.
- Бортовое и наземное радиоэлектронное обеспечение управления морскими и аэрокосмическими системами и перспективы его совершенствования
- Интеллектуальное навигационное обеспечение управления морскими и аэрокосмическими системами и системы радиосвязи
- Геоинформационное обеспечение интеллектуального управления морскими и аэрокосмическими системами
- Поддержка принятия решений в кризисных ситуациях на базе аэрокосмических систем мониторинга и управления
- Интегрированная обработка данных и информации в аэрокосмических и морских системах
- Надежность, живучесть и эффективность функционирования систем управления морскими и аэрокосмическими объектами
- Обучающие программы и тренажеры в морских и аэрокосмических системах
- Управление морскими и аэрокосмическими роботами
- Управление динамикой и физическими полями морских подвижных объектов
- Мультиагентные и сетевые системы управления авиационными, ракетно-космическими и морскими подвижными объектами и комплексами
- Управление эксплуатацией авиационных, ракетно-космических и морских подвижных объектов и комплексов

Подробную информацию о конференции см. сайте:  
<http://www.elektropribor.spb.ru/umas2018>