

# Децентрализованный алгоритм обнаружения изменения режима движения объекта по данным мультисенсоров

А.В. Цыганов  
Ульяновский государственный  
педагогический университет  
им. И.Н. Ульянова  
Ульяновск, Россия  
andrew.tsyganov@gmail.com

Ю.В. Цыганова  
Ульяновский государственный  
университет  
Ульяновск, Россия  
tsyganovajv@gmail.com

А.В. Голубков  
Ульяновский государственный  
педагогический университет  
им. И.Н. Ульянова  
Ульяновск, Россия  
kr8589@gmail.com

**Аннотация**—В работе рассмотрена задача обнаружения изменения режима движения объекта в неизвестный момент времени по данным мультисенсоров. Предложено новое решающее правило, для вычисления которого используется децентрализованный алгоритм дискретной фильтрации. Алгоритм реализован в системе MATLAB. Результаты компьютерного моделирования подтверждают работоспособность предложенного решения.

**Ключевые слова**— децентрализованный алгоритм обработки данных, распределенная фильтрация Калмана, последовательное решающее правило, модели движения объекта.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Мультисенсорные сети широко применяются в различных областях науки и техники, например, в системах управления с целью улучшения качества получаемых оценок состояния изучаемого объекта или системы за счет синтеза данных с различных сенсоров. В связи с этим актуальной является разработка новых и модернизация имеющихся алгоритмов оптимального оценивания в мультисенсорных сетях.

Одним из наиболее популярных методов оценивания на протяжении многих десятилетий является фильтр Калмана, который нашел свое применение и в мультисенсорных системах. Обзор методов распределенной калмановской фильтрации можно найти, например, в [1, 2].

В [3] рассматривается задача мультисенсорного оценивания параметров модели объекта с несколькими возможными режимами движения. Предложен децентрализованный мультисенсорный алгоритм оценивания вектора состояния модели движения на основе децентрализованного алгоритма калмановской фильтрации.

В [4] предложен гарантированный по вероятностям ошибок первого и второго рода метод обнаружения факта изменения режима движения объекта в заранее неизвестный момент времени. Решение основано на представлении траектории движения объекта гибридной стохастической моделью, применении последовательного решающего правила и алгоритма калмановской фильтрации. Отличие данного метода в том, что решение принимается на ограниченном множестве значений функции отношения правдоподобия.

Целью данной работы является развитие результатов, полученных в [3] и [4], а именно: построение нового

децентрализованного алгоритма обнаружения изменения режима движения объекта в неизвестный момент времени по измерительным данным, получаемым от сети сенсоров.

## 2. ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЙ АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА

Рассмотрим сеть сенсоров с полностью связанной топологией, состоящую из  $N$  узлов, в которой каждый узел имеет возможность вычислять собственные оценки вектора состояния модели движения объекта. Измерения и оценки, получаемые в узлах, будем называть локальными.

Предположим, что каждый узел имеет одинаковый набор моделей объекта, описывающих возможные режимы его движения

$$x(k) = \Phi_p x(k-1) + B_p u(k-1) + G_p w_p(k-1),$$

а локальные измерения описываются моделью

$$z_i(k) = H_{ip} x(k) + v_{ip}(k), \quad k=1,2,\dots,$$

где  $p=0,1,\dots,M-1$ ,  $i=1,\dots,N$ ,  $M$  — количество возможных режимов движения,  $N$  — количество узлов,  $x(k)$  — вектор состояния объекта,  $u(k)$  — вектор управления,  $z_i(k)$  — вектор измерений,  $w_p(k)$  — гауссовский шум в объекте,  $v_{ip}(k)$  — гауссовский шум в измерителе.

Ключевая идея децентрализованного фильтра Калмана состоит в возможности выразить глобальные оценки вектора состояния через локальные [2]. Локальные обновления величин фильтра вычисляются в каждом узле и передаются всем остальным узлам.

Предположим, что в некоторый заранее не известный момент времени может произойти изменение режима движения объекта. Задача заключается в обнаружении данного факта. В [4] было предложено последовательное решающее правило, позволяющее принять решение об изменении режима движения на ограниченном множестве значений функций правдоподобия. В данной работе предлагается решающее правило с новым выражением для вычисления функции правдоподобия (для двух режимов движения):

$$\lambda_k = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \psi_j^1(k),$$

где значения  $\psi_j^1(k)$  вычисляются на основе оценок, получаемых фильтром Калмана.

Отличие от [4] заключается в том, что для вычисления  $\lambda_k$  мы используем децентрализованный алгоритм фильтрации [3] на основе информационной формы фильтра Калмана, который позволяет получить все требуемые для расчетов величины в каждом узле по данным мультисенсоров. Таким образом, новое решающее правило с вычислением  $\lambda_k$  позволяет динамически контролировать процесс изменения режима движения объекта в каждом узле мультисенсорной сети.

### 3. ПРИМЕР

Рассмотрим траекторию движения объекта, приведенную на рис. 1. Объект начинает движение из точки с координатами (0,0) с вектором скорости (-2,2). Сначала он в течение 40 дискретных моментов совершает равномерное круговое движение по часовой стрелке с радиусом 3, а затем равномерное круговое движение против часовой стрелки с радиусом 5.

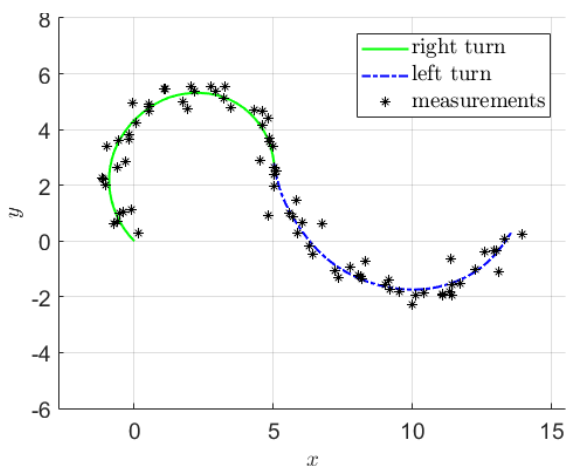


Рис. 1. Траектория объекта

На рис. 2 приведен график функции правдоподобия  $\lambda_k$ , вычисляемой в каждом узле.

### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе построен децентрализованный алгоритм обнаружения изменения режима движения объекта по данным мультисенсоров. Предложено новое выражение для вычисления функции правдоподобия в децентрализованном информационном фильтре.

Результаты компьютерного моделирования в среде MATLAB подтвердили работоспособность предложенного решения.

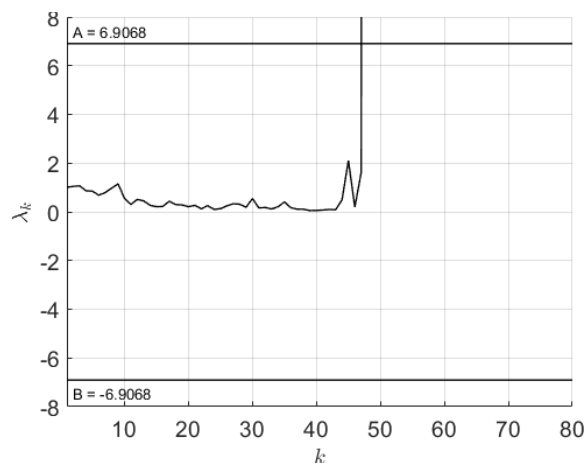


Рис. 2. График  $\lambda_k$

### БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ульяновской области в рамках научных проектов № 18-41-732001 р\_мк, № 18-41-732003 р\_мк.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Mahmoud, M.S. Distributed Kalman filtering: a bibliographic review / M.S. Mahmoud, H.M. Khalid // IET Control Theory Appl. – 2013. – Vol. 7(4). – P. 483-501. DOI: 10.1049/iet-cta.2012.0732.
- [2] Rao, B. Fully decentralized algorithm for multisensor Kalman Filtering / B. Rao, H. Durrant-Whyte // IEEE Proceedings. – 1991. – Vol. 138(5). – P. 413-420.
- [3] Golubkov, A.V. Decentralized multisensor estimation of motion parameters of an object moving along a complex trajectory / A.V. Golubkov, A.V. Tsyganov, Yu.V. Tsyganova, I.O. Petrishchev // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1368. – P. 042041. DOI: 10.1088/1742-6596/1368/4/042041.
- [4] Golubkov, A.V. Algorithm for detecting a change in the motion mode of an object moving along a complex trajectory / A.V. Golubkov, A.V. Tsyganov, I.O. Petrishchev // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1745. – P. 012115. DOI: 10.1088/1742-6596/1745/1/012115.