

УДК 621.396.96

АДАПТИВНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДАННЫХ СЕНСОРНОЙ СЕТИ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ TDOA И RSS

И. О. ТОВКАЧ, С. Я. ЖУК

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»,
Украина, Киев, 03056, пр-т Победы 37*

Аннотация. На основе математического аппарата смешанных марковских процессов в дискретном времени синтезированы оптимальный и квазиоптимальный адаптивные алгоритмы фильтрации параметров движения источника радиоизлучения с различными видами маневра при комплексном использовании данных сенсорной сети, полученных на основе методов TDOA и RSS. Реализующие их устройства, являются многоканальными и относятся к классу устройств с обратными связями между каналами. Наличие обратных связей между каналами обусловлено марковским свойством дискретного компонента, описывающего виды движения источника радиоизлучения. В квазиоптимальном адаптивном алгоритме обработка измерений, поступающих от датчиков сенсорной сети, выполняется с помощью последовательной процедуры выполнения вычислений. При этом он обеспечивает полигаусовскую аппроксимацию апостериорной плотности вероятности оцениваемого вектора параметров движения источника радиоизлучения. Анализ квазиоптимального алгоритма выполнен с помощью статистического моделирования на ЭВМ на примере оценивания параметров движения БПЛА с различными видами маневра, излучающего радиосигнал.

Ключевые слова: БПЛА, метод TDOA, метод RSS, сенсорная сеть, оптимальный и квазиоптимальный адаптивные алгоритмы, параметры движения источника радиоизлучения, комплексное использование данных сенсорной сети

ВСТУПЛЕНИЕ

На сегодняшний день все большее внимание привлекают к себе беспроводные сенсорные сети, которые нашли применение в таких областях, как автоматизированный сбор данных, наблюдение и мониторинг окружающей среды. Беспроводная сенсорная сеть представляет собой распределенную, самоорганизующуюся и устойчивую к отказу сеть миниатюрных электронных устройств, обменивающихся информацией по беспроводному каналу связи [1]. В частности, одним из основных применений сенсорных сетей является создание различных систем мониторинга и отслеживание

движущихся источников радиоизлучения (ИРИ) как внутри помещения, так и снаружи. Одним из примеров таких ИРИ могут выступать беспилотные летательные аппараты (БПЛА), которые порождают новый класс угроз [2, 3]: падение, вторжение в частную жизнь, фотосъемка засекреченных объектов, контрабанда, возможность терактов, столкновение с воздушными транспортными средствами. Это приводит к необходимости разработки систем, которые решают задачи обнаружения, определения местоположения и параметров движения ИРИ.

DOI: [10.20535/S0021347017120020](https://doi.org/10.20535/S0021347017120020)
© И. О. Товкач, С. Я. Жук, 2017

localization system: Setup, challenges and results. *Proc. of 10th Workshop on Positioning Navigation and Communication*, WPNC, 20-21 May 2013, Dresden, Germany. IEEE, 2013. DOI: [10.1109/WPNC.2013.6533293](https://doi.org/10.1109/WPNC.2013.6533293).

5. Rullan-Lara, Jose L.; Sanahuja, Guillaume; Lozano, Rogelio; Salazar, Sergio; Garcia-Hernandez, Ramon; Ruz-Hernandez, Jose A. Indoor localization of a quadrotor based on WSN: A real-time application. *Int. J. Advanced Robotic Syst.*, Vol. 10, No. 1, 2013. DOI: [10.5772/53748](https://doi.org/10.5772/53748).

6. Black, Timothy J.; Pathirana, Pubudu N.; Nahavandi, Saeid. Position estimation and tracking of an autonomous mobile sensor using received signal strength. *Proc. of Int. Conf. on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing*, ISSNIP, 15-18 Dec. 2008, Sydney, Australia. IEEE, 2008, p. 19–24. DOI: [10.1109/ISSNIP.2008.4761956](https://doi.org/10.1109/ISSNIP.2008.4761956).

7. Masiero, A.; Fissore, F.; Guarnieri, A.; Pirotti, F.; Vettore A. UAV positioning and collision avoidance based on RSS measurements. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, Vol. XL-1/W4, pp. 219–225, 2015. DOI: [10.5194/isprsarchives-XL-1-W4-219-2015](https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W4-219-2015).

8. Tiwari, S.; Darraji, R.; Bassam, S. A.; Kwan, A.; Rawat, K.; Rawat, M.; Fattouche, M.; Ghannouchi, F. M. Practical result of wireless indoor position estimation by using hybrid TDOA/RSS algorithm. *Proc. of 23rd Canadian Conf. on Electrical and Computer Engineering*, CCECE, 2-5 May 2010, Calgary, AB, Canada. IEEE, 2010. DOI: [10.1109/CCECE.2010.5575134](https://doi.org/10.1109/CCECE.2010.5575134).

9. Жук, С. Я. Синтез цифровых обнаружителей-измерителей смешанных марковских процессов. *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 32, № 11, С. 31–37, 1989. URI: <http://radio.kpi.ua/article/view/S002134701989110063>.

10. Tovkach, Igor O.; Zhuk, Serhii Ya. Adaptive filtration of parameters of the UAV movement on data from its location calculated on the basis the time difference of arrival method. *Proc. of 2017 IEEE First Ukraine Conf. on Electrical and Computer Engineering*, UKRCON, 29 May-2 June 2017, Kyiv, Ukraine. IEEE, 2017, pp. 160–165. DOI: [10.1109/UKRCON.2017.8100466](https://doi.org/10.1109/UKRCON.2017.8100466).

11. Tovkach, I. O.; Zhuk, S. Ya. Recurrent algorithm for TDOA localization in sensor networks, *J. Aerosp. Technol. Manag.*, Vol. 9, No. 4, pp. 489–494, 2017. DOI: [10.5028/jatm.v9i4.727](https://doi.org/10.5028/jatm.v9i4.727).

12. Товкач, И. О.; Жук, С. Я. Адаптивная фильтрация параметров движения БПЛА по данным сенсорной сети на основе измерения мощности принимаемого сигнала. *Вестник НТУУ «КПИ». Серия Радиотехника. Радиоаппаратостроение*, № 69, С. 41–48, 2017. URI: <http://radap.kpi.ua/ru/radiotechnique/article/view/1385>.

13. Евланов, П. А.; Жук, С. Я. Комплексование измерителей с отказами. *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 33, № 7, С. 49–53, 1990.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баскаков, С. С. Исследование способов повышения эффективности маршрутизации по виртуальным координатам в беспроводных сенсорных сетях. *Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Серия Приборостроение*, № 2, С. 112–124, 2009. URI: <http://vestnikprib.ru/catalog/it/hidden/197.html>

2. Wallace, R. J.; Loffi, J. M. Examining unmanned aerial system threats & defenses: A conceptual analysis. *Int. J. Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, Vol. 2, No. 4, 2015. DOI: [10.15394/ijaaa.2015.1084](https://doi.org/10.15394/ijaaa.2015.1084).

3. Защита от дронов — небесный рубеж вашей безопасности. URI: <http://dronebouncer.com/>.

4. El Gemayel, Noha; Koslowski, Sebastian; Jondral, Friedrich K.; Tschan, Joachim. A low cost TDOA

Поступила в редакцию 07.07.2017

После переработки 17.11.2017