

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНФИГУРАЦИИ СЕНСОРНОЙ СЕТИ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ TDOA-ИЗМЕРЕНИЙ

Товкач И. О., аспирант; Жук С. Я., д.т.н., профессор

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев, Украина

Для интегрального описания точностных характеристик сенсорной сети, использующей TDOA-измерения, применяется семейство изолиний

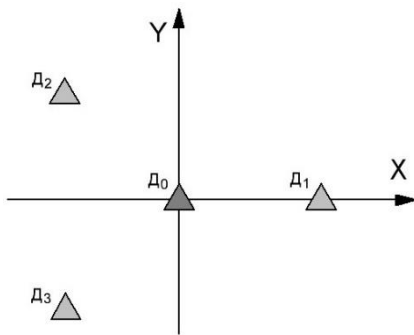


Рис. 1

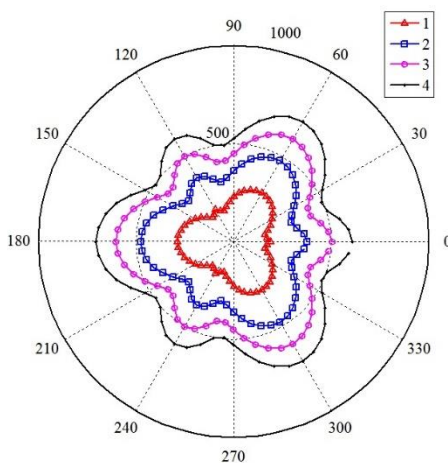


Рис. 2

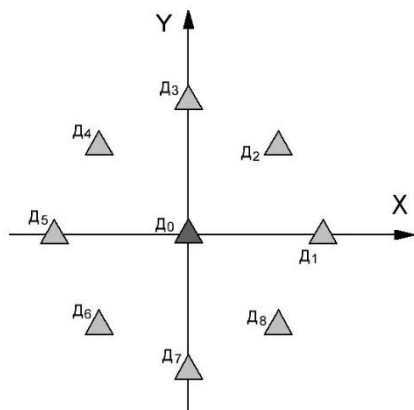


Рис. 3

СКО ошибки измерения дальности  $\sigma_r$ , источника радиоизлучения (ИРИ), построенных в координатах  $x, y$  [1,2]. Каждая изолиния, начиная от центра, ограничивает область, где ошибка не превосходит заданного значения  $\sigma_r \leq \sigma_{r_{доп}}$ . По скорости изменения расстояний между изолиниями можно также выявить азимутальные направления, где ошибки по мере удаления от центра растут более медленно или более быстро.

Графики семейства изолиний для случая СКО ошибки измерения разности расстояний  $\sigma_v = 3 м$ , построены для двух конфигураций сенсорной сети с разным числом датчиков расположенных на окружности 100 м.

Первая конфигурация сенсорной сети состоит из четырех датчиков рис. 1. При TDOA-измерениях рис. 2, СКО ошибки определения местоположения, в зависимости от направления носит неравномерный характер. В направлениях  $0^\circ, 60^\circ, 120^\circ, 180^\circ, 240^\circ, 300^\circ$  оно растет наиболее медленно и не превышает допустимого значения  $\sigma_r \leq 50, 150, 250, 350 м$  на расстояниях 287, 475, 603, 706 м, соответственно. На азимутах  $30^\circ, 90^\circ, 150^\circ, 210^\circ, 270^\circ, 330^\circ$  СКО ошибки растет наиболее быстро и не превышает допуски

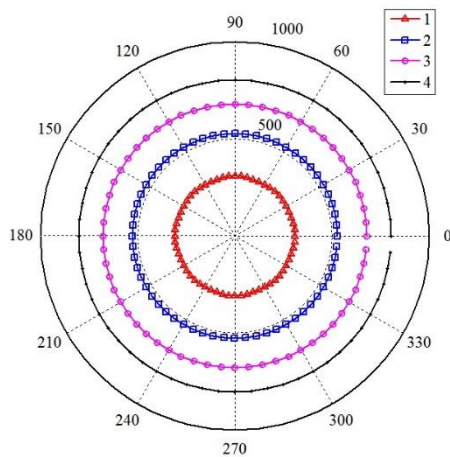


Рис. 4

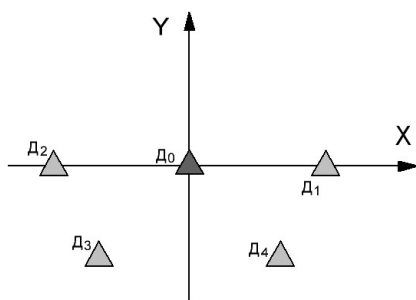


Рис. 5

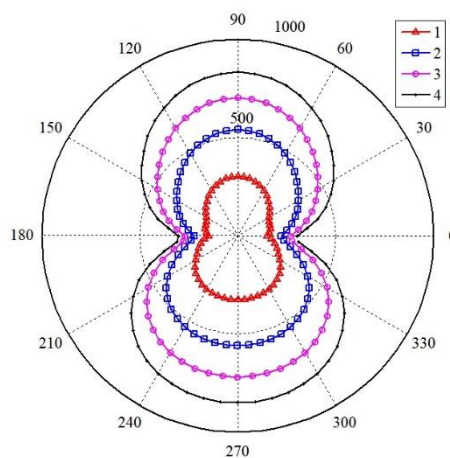


Рис. 6

мого значення  $\sigma_r \leq 50, 150, 250, 350$  м на відстанях 163, 310, 416, 492 м, відповідно.

Вторая конфигурация сенсорной сети состоит из девяти датчиков рис. 3. При TDOA-измерениях рис. 4, СКО ошибки на азимутах  $0^\circ - 360^\circ$  растут равномерно и не превышают допустимых значений  $\sigma_r \leq 50, 150, 250, 350$  м на расстояниях 309, 528, 680, 804 м, соответственно.

При увеличении числа датчиков изолинии сохраняют форму концентрических окружностей и при этом существенного прироста в точности определения местоположения ИРИ не происходит. Поэтому, рассмотренная топология сети из девяти датчиков, может быть рекомендована для использования на практике, если направление появления цели неизвестно.

Была также исследована конфигурация сенсорной сети из пяти датчиков, которая обладает направленными свойствами рис. 5.

Для TDOA рис. 6, СКО ошибки определения местоположения: при азимуте  $90^\circ$  растет более медленно и не превышает допустимых значений  $\sigma_r \leq 50, 150, 250, 350$  м на расстояниях 303, 541, 704, 835 м, соответственно; при азимуте  $270^\circ$  также растет более медленно и не превышает допустимых значений  $\sigma_r \leq 50, 150, 250, 350$  м на расстояниях 326, 559, 720, 852 м, соответственно; при азимутах  $0^\circ, 180^\circ$  растет более быстро и не превышает допустимых значений  $\sigma_r \leq 50, 150, 250, 350$  м на расстояниях 147, 224, 268, 302 м, соответственно.

Рассмотренная конфигурация сенсорной сети из пяти датчиков, позволяет в заданных секторах получить более высокие точностные характеристики при меньшем числе датчиков по сравнению с конфигурацией сети из девяти датчиков, обеспечивающей равномерную зону покрытия.

### **Выводы**

Конфигурация из девяти датчиков, восемь из которых расположены равномерно на окружности, обеспечивает равномерную область покрытия. При дальнейшем увеличении числа датчиков, существенного прироста в точности определения местоположения ИРИ не происходит, и она может быть рекомендована, если направление появления цели неизвестно. Рассмотренная конфигурация сенсорной сети из пяти датчиков, которая обладает направленными свойствами, позволяет в заданных секторах получить более высокие точностные характеристики при меньшем числе датчиков по сравнению с равномерной конфигурацией сети.

### **Перечень источников**

1. I.O. Tovkach, S.Ya. Zhuk (2017). Recurrent Algorithm for TDOA Localization in Sensor Networks, J. Aerosp. Technol. Manag., São José dos Campos, Vol.9, №4, pp.489-494, Oct.-Dec., 2017. <http://dx.doi.org/10.5028/jatm.v9i4.727>

2. Симаков В.А. Построение адаптивных систем пассивной радиолокации на принципах разностно-дальномерной координатометрии / В.А. Симаков // Научные ведомости Белгородский государственный университет. — 2005. — №2. — С. 221.

### **Анотація**

За допомогою статистичного моделювання проведено аналіз впливу конфігурації сенсорної мережі і числа її датчиків на точність визначення місця розташування джерела радіовипромінювання на основі TDOA-вимірювань за допомогою сімейства ізоліній. Розглянуто конфігурації, які володіють як спрямованими, так і неспрямованими властивостями.

**Ключові слова:** БПЛА, бездротові сенсорні мережі, TDOA-вимірювання, сімейство ізоліній.

### **Аннотация**

С помощью статистического моделирования проведен анализ влияния конфигурации сенсорной сети и числа ее датчиков на точность определения местоположения источника радиоизлучения на основе TDOA-измерений с помощью семейства изолиний. Рассмотрены конфигурации обладающие как направленными, так и ненаправленными свойствами.

**Ключевые слова:** БПЛА, беспроводные сенсорные сети, TDOA-измерения, семейство изолиний.

### **Abstract**

With the help of statistical modeling, the effect of the configuration of the sensor network and the number of its sensors on the accuracy of determining the location of the radio source based on the TDOA measurements using an isoline family was analyzed. The configurations possessing both directional and non-directional properties are considered.

**Keywords:** UAVs, wireless sensor networks, TDOA-measurement, isolines.