

## АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ОЦІНЮВАННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ ОБ'ЄКТУ ЗА ДАНИМИ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ РІЗНИЦЕВО-ДАЛЕКОМІРНОГО МЕТОДУ

Товкач І. О., аспірант; Жук С. Я., д.т.н., професор  
 Національний технічний університет України  
 «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

За останні роки інформація про місцезнаходження джерел радіовипромінювання (ДРВ) отримала значний інтерес у багатьох бездротових системах, таких як стільникові мережі, бездротові локальні системи та бездротові сенсорні мережі. Наприклад, така інформація буде корисною у надзвичайних ситуаціях, для виявлення місцезнаходження мобільного об'єкту, в інтелектуальних транспортних та охоронних системах.

Для виявлення місцезнаходження ДРВ бездротова сенсорна мережа зазвичай повинна складатись з трьох або більше датчиків (Д) [1]. Існують різні методи для виявлення ДРВ: кутомірний, далекомірний, різницево-далекомірний, кутомірно-різницево-далекомірний. Різницево-далекомірний метод (РДМ) має істотну перевагу в простоті реалізації, тому що не вимагає синхронізації між ДРВ і датчиками мережі, що й призводить

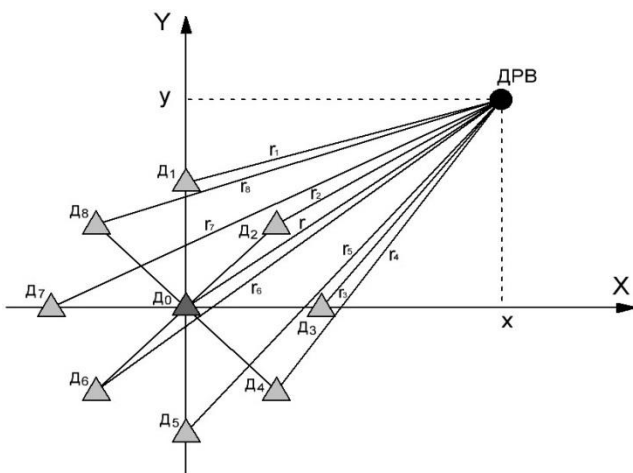


Рисунок 1.

до його широкого застосування на практиці. На рис. 1 наведено конфігурацію сенсорної мережі РДМ з дев'ятьма Д, де  $x, y$  – місцезнаходження ДРВ;  $x_i, y_i$  – координати датчиків;  $r_i$  – відстань між датчиками та ДРВ;  $r$  – відстань між опорним датчиком та ДРВ;  $R_i$  – різниця відстаней між  $r_i$  та  $r$ ; Рівняння РДМ:  $R_i = r_i - r + n, i = \overline{1,3}$ , де  $n$  – похибка виміру.

Проведено аналіз ефективності трьох алгоритмів визначення координат ДРВ на основі РДМ: сферичного перетину, сферичної інтерполяції, квадратичної корекції [2]. В якості показника ефективності використовувалось кругове СКВ  $\sigma = \sqrt{\text{tr}(R)}$ , де  $R$  – кореляційна матриця похибок оцінки координат ДРВ. Моделювання кожного алгоритму РДМ проведено для конфігурації сенсорної мережі, де Д0 (0;0), Д1 (0;20), Д2 ( $20\sqrt{2}$ ;  $20\sqrt{2}$ ), Д3 (20;0), Д4 ( $20\sqrt{2}$ ;  $-20\sqrt{2}$ ), Д5 (0;-20), Д6 ( $-20\sqrt{2}$ ;  $-20\sqrt{2}$ ), Д7 (-20;0), Д8 ( $-20\sqrt{2}$ ;  $20\sqrt{2}$ ) та ДРВ знаходиться по колу з радіусом 100 км відносно опорного датчика

Д0. Похибка вимірювання датчиків  $\sigma = 30$  м.

Алгоритм сферичного перетину (АСП) складається з двох етапів: перший – визначається оцінка координат ДРВ, яка залежить від відстані  $r$ , другий – вирішується квадратичне рівняння зв'язку відносно відстані  $r$ . Фактичне кругове СКВ  $\hat{\sigma}_{АСП}^{МК}$  похибки оцінки місцезнаходження ДРВ, отримане методом Монте-Карло, має великі значення, обумовленні помилками в визначенні кореня квадратичного рівняння. Воно коливається в межах від 13 до 22 км. Теоретичне значення СКВ  $\hat{\sigma}_{АСП}$  для даного методу не розраховується.

Алгоритм сферичної інтерполяції (АСІ) відрізняється від АСП другим етапом: рішення першого етапу підставляють в початковий функціонал та повторно вирішують задачу лінійної оптимізації. Фактичне кругове СКВ  $\hat{\sigma}_{АСІ}^{МК}$  (крива 1) похибки оцінки місцезнаходження ДРВ, а також теоретичне СКВ  $\hat{\sigma}_{АСІ}$  (крива 2), яке отримано аналітично, показані на рис. 2. Значення фактичного СКВ коливається відносно його теоретичного. СКВ  $\hat{\sigma}_{АСІ}^{МК}$  приймає значення в межах від 1.6 до 2.6 км.

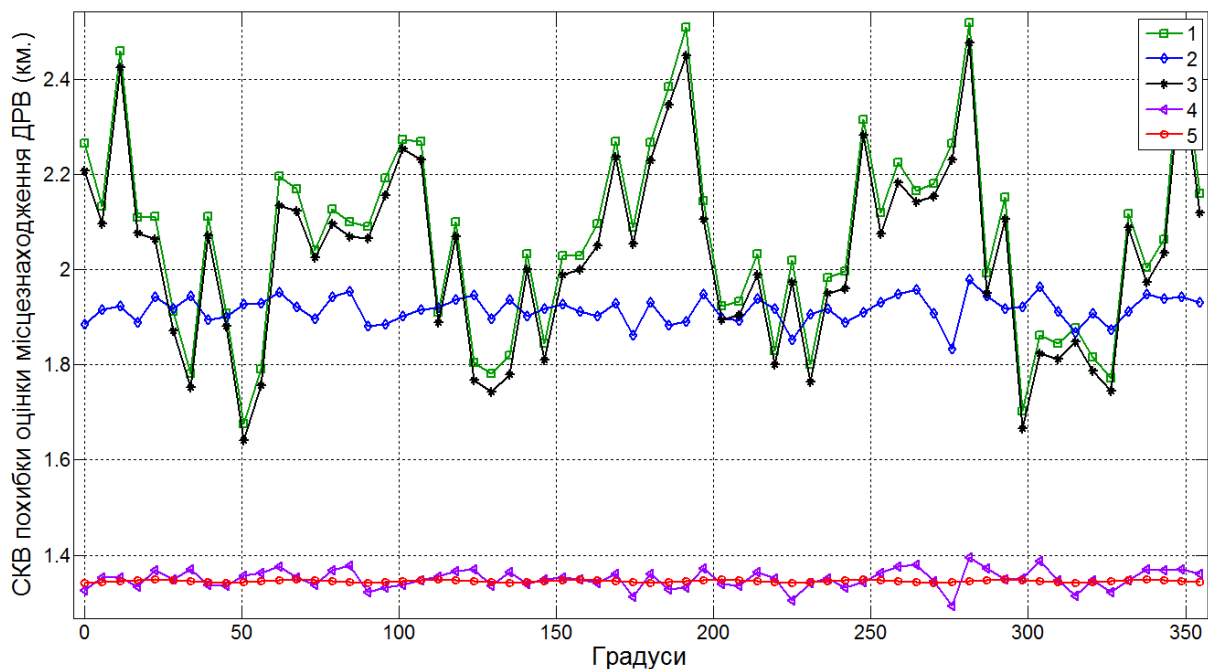


Рисунок 2. 1 — СКВ  $\hat{\sigma}_{АСІ}^{МК}$  АСІ, 2 — СКВ  $\hat{\sigma}_{АСІ}$  АСІ, 3 — СКВ  $\hat{\sigma}_{АКК}^{МК}$  АКК, 4 — СКВ  $\hat{\sigma}_{АКК}$  АКК, 5 — нижня границя Рао-Крамера

Алгоритм квадратичної корекції (АКК) також складається з двох етапів: перший – використовується рішення отримане АСІ, другий – рішення корегується з урахуванням квадратичного зв'язку. Фактичне кругове СКВ  $\hat{\sigma}_{АКК}^{МК}$  (крива 3) похибки оцінки місцезнаходження ДРВ, а також теоретичне СКВ  $\hat{\sigma}_{АКК}$  (крива 4), яке отримано аналітично, показані на рис. 2. Отримані значення СКВ мають розбіжність між собою, що свідчить про недоліки роботи алгоритму. СКВ  $\hat{\sigma}_{АКК}^{МК}$  має значення близькі до СКВ  $\hat{\sigma}_{АСІ}^{МК}$ .

Також на рис. 2 (крива 5) показано СКВ  $\hat{\sigma}_{\text{НГРК}}$ , яке відповідає нижній границі Рао-Крамера (НГРК), яка характеризує потенціальну можливу точність визначення координат ДРВ.

Для даної конфігурації сенсорної мережі аналіз результатів моделювання показав, що АСП має найгірші показники оцінювання координат ДРВ. Фактичні СКВ похибки АСП та АКК збігається між собою. Для розглянутих алгоритмів СКВ похибки оцінки місцезнаходження ДРВ не досягає НГРК, тому удосконалення алгоритмів визначення місцезнаходження ДРВ є актуальною науковою задачею.

### **Перелік посилань**

1. 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.

2. Бузуверов Г.В. Алгоритмы пассивной локации в распределенной сети датчиков по разностно-дальномерному методу / Г.В.Бузуверов, О.И. Герасимов. — М. : Информационно-измерительные и управляющие системы №5, 2008. — 12 с.

### **Анотація**

Проведено аналіз ефективності алгоритмів сферичного перетину, сферичної інтерполяції та квадратичної корекції для визначення координат джерела радіовипромінювання на основі різницево-далекомірною методу за даними сенсорної мережі. Значення кругової СКВ похибки оцінки отримане шляхом аналітичного розрахунку та статистичного моделювання на ЕОМ. Здійснено порівняння точносних характеристик алгоритмів з нижньою границею Рао-Крамера.

**Ключові слова:** різницево-далекомірний метод, джерело радіовипромінювання, сенсорні мережі.

### **Аннотация**

Проведен анализ эффективности алгоритмов сферического пересечения, сферической интерполяции и квадратичной коррекции для определения координат источника радиоизлучения на основе разностно-дальномерного метода по данным сенсорной сети. Значение круговой СКВ погрешности оценки полученное путем аналитического расчета и статистического моделирования на ЭВМ. Проведено сравнение точностных характеристик алгоритмов с нижней границей Рао-Крамера.

**Ключевые слова:** разностно-дальномерный метод, источник радиоизлучения, сенсорные сети.

### **Abstract**

The analysis of the effectiveness of the spherical intersection algorithms, spherical interpolation and quadratic correction for determining the coordinates of the radio source based on the time difference of arrival method according to data sensor network. The value of the SD circular error estimates obtained by analytical calculation and statistical computer modeling. A comparison of the accuracy characteristics of algorithms with the Cramer-Rao lower bound.

**Keywords:** the time difference of arrival method, the radio source, sensor networks.