

РОБАСТНОСТНИЙ ПІДХІД ДО ЗАДАЧІ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ЕЛЕМЕНТІВ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Якорнов Є.А., Цуканов О.Ф.

*Інститут телекомунікаційних систем КІП ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: cukanov-o@ukr.net*

ROBUST APPROACH TO THE PROBLEM OF INCREASING THE ACCURACY OF DETERMINING THE COORDINATES OF ELEMENTS OF WIRELESS SENSOR NETWORKS

A robust approach to solving the problem of increasing the accuracy of determining coordinates of elements of wireless sensor networks for the case of a difference in the distribution law of measurement errors from the normal one and some simulation results are given.

Бездротові сенсорні мережі (БСМ) знаходять все більше застосувань, особливо при розгортанні сенсорів в зонах надзвичайних ситуацій (НС), та при їх вдосконаленні, як і раніше, багато уваги приділяється питанням збору інформації, енергетичної ефективності й маршрутизації, а також підвищенню точності визначення координат вузлів БСМ [1, 2].

Розглянемо наступну постановку задачі. Є БСМ, яка складається з n нерухомих, після розгортання в зоні НС або переміщення, елементів. Координати елементів БСМ визначаються шляхом вимірювання взаємних відстаней. Прийнемо, що похибки вимірювань розподілені за законом, який близький до нормального. Необхідно підвищити точність визначення координат сенсору при законі розподілу помилок вимірювань відмінному від нормального, що має місце через складне нелінійне перетворення. Останнє призводить до того, що координати сенсору будуть визначатися шляхом усереднення, при якому оцінка координат не буде незсуненою, консистентною та ефективною.

Для усунення цього недоліку при оцінюванні координат сенсорів розглянемо можливості використання робастних методів оцінювання [3, 4]. Наприклад, при невідомому законі розподілу похибок вимірювань взаємних відстаней можливе використання мінімаксий підхід Хьюбера [3]. Тоді, в якості оцінки координат береться така, яка буде мати похибку мінімальну з максимально можливих. Зауважимо, що в разі симетричності закону розподілу робастна оцінка Хьюбера стає нестійкою. Тоді найбільш робастною (стійкою до закону розподілу похибок) є медіанна оцінка. А при вирішенні завдання підвищення точності визначення координат місця розташування сенсорів БСМ - використання функцій впливу [3, 4], які показують який вплив на оцінку має аномальне вимір, та наскільки від його «страждає» точність одержуваної оцінки.

Суть підходу на основі використання функції впливу Хьюбера полягає в припущенні, що в реальній вибірці, похибки вимірювань розподілені за двома законами розподілу. Перший основний $N(x, D_1)$ - нормальний закон розподілу з нульовим середнім і дисперсією похибок вимірювань D_1 , другий - $R(x, D_2)$, нормальний закон розподілу з нульовим середнім і дисперсією похибок вимірювань D_2 .

Результуючий закон розподілу с «забрудненням» має вигляд:

$$P(x) = (1 - \varepsilon)N(x, D_1) + \varepsilon R(x, D_2), \quad (1)$$

де ε – параметр забруднення, який на практиці береться таким, що дорівнює 0,05 - 0,1.

При $\varepsilon \rightarrow 0$, в якості оцінки приймається арифметичне середнє, в разі $\varepsilon \rightarrow 1$ - медіана вибірки.

Вихідними даними для моделювання, є еталонні значення координат двох сенсорів: (X_{e1}, Y_{e1}) , (X_{e2}, Y_{e2}) на основі яких визначається оцінка координат чергового сенсору (позначимо їх як $(X_{e3}$ та Y_{e3}). Оцінка проводилася за допомогою методу Ньютона-Рафсона [3]:

$$X_{k+1} = X_k + W_k^{-1} f_k, \quad (2)$$

де f_k - вектор вимірюваних дальностей r_{1k}, r_{2k} до k -го сенсору;

W_k^{-1} - матриця часткових похідних r_{1k}, r_{2k} за координатами x, y ;

X_{k+1} - шукані координати поточного сенсору.

На рис. 1 представлені результати моделювання при $n = 100$ у вигляді гістограм (синій колір) і графіків нормального закону розподілу оцінок координат (червоний колір) при еталонних значеннях $X_{e3} = 199,98$ (рис. 1.а), $Y_{e3} = 691,61$ (рис. 1.б) розподілених за нормальним законом з нульовим середнім та дисперсією $S_{D1} = 4m$.

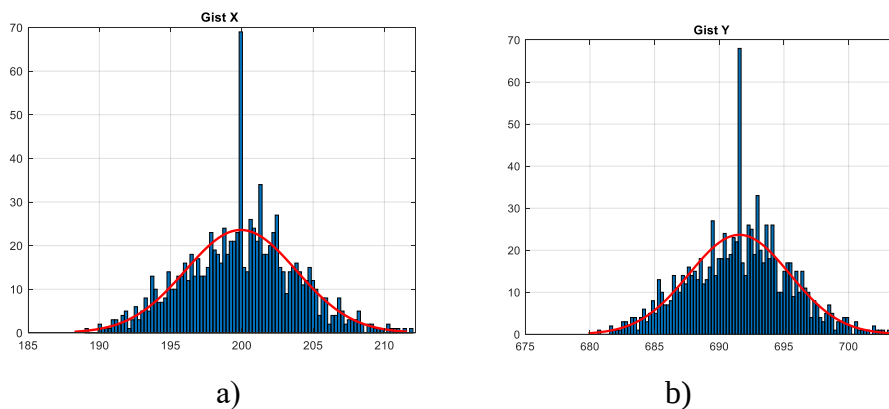


Рис. 1. Результати моделювання при $n = 100$.

Далі, на рис. 2 для тих самих еталонних значень оцінок ($X_{e3} = 199,98$, $Y = 691,61$), наведено результати моделювання з використанням робастного

методу оцінювання. Для $\epsilon = 5\%$ при невеликій відмінності дисперсії основного закону розподілу $N(x, D_1)$ з дисперсією $S_{D_1} = 3m$ від «забрудненого» $R(x, D_2)$ з дисперсією $S_{D_2} = 4m$. У першому випадку, в якості оцінки береться медіана, а в другому оцінка з використанням функції впливу Хьюбера [3].

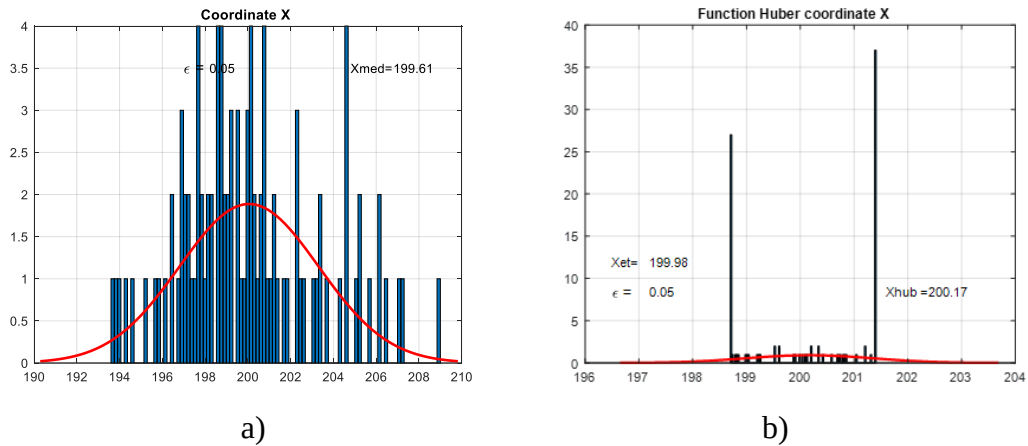


Рис. 2. Результати моделювання з використанням робастного методу оцінювання.

Аналіз гістограм на рис. 1 і 2 показує, що гістограма з використанням закону розподілу (1) (рис. 2.а) не має чітко вираженого максимуму, який до того ж не збігається із середнім значенням. Отримані оцінки з використанням функції впливу Хьюбера X_{hub} , Y_{hub} найбільш близькі до еталонних значень оцінки координат сенсорів X , Y в порівнянні з медіанною оцінкою.

Таким чином порівняння робастних методів оцінювання на основі медіанної оцінки та оцінки функції впливу показує, що останній метод оцінювання більш точний. Результати моделювання показують, що використання робастних методів оцінювання при відмінному законі розподілу похибок вимірювань від нормального, дозволяє підвищити точність визначення координат місця розташування нерухомих елементів БСС в середньому на 5-10%.

Література

1. Власова В.А. Метод определения координат объектов на этапе инициализации гомогенной беспроводной сенсорной сети: диссер. к. т. н.: 05.12.02. – Х.: ХНУРЭ, 2014.– 165 с.
2. Olexandr Lysenko, Stanislav Valuisky Secured wireless sensor network for environmental monitoring // Volume of Scientific Papers, Security forum 2016, Slovakia, Banská Bystrica, 2016, vol.2, pp. 528-532. ISBN 978-80-557-1094-5.
3. Хампель Ф. Рончетти, Э.Рауссей П.Штаэль В. Робастность в статистике. Подход на основе функции влияния. -М.Мир,1984, - 512 с.
4. Шуленин В.П. Робастные методы математической статистики. -Томск: Изд-во НТЛ, 2016-260 с.