

УДК 621.396.96:551.501.8

ОСОБЛИВОСТІ АДАПТАЦІЇ СИСТЕМ РАДІОАКУСТИЧНОГО ЗОНДУВАННЯ АТМОСФЕРИ ДО ЗМІН НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Карташов О.В.

e-mail: oleksandr.kartashov@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МІРЕС,
м. Харків, Україна

The analysis of known methods of frequency adaptation of radioacoustic atmospheric sounding (RAS) systems to environmental changes is performed. The synthesis of an effective algorithm for adapting RAS systems to variable external atmospheric conditions is considered, obtained using the basic principles of the theory of stochastic optimal control and the theory of measuring radio systems. A new structure of the system for adapting and controlling the parameters of the sensing system is proposed. It is shown that the use of linear sequential filtering algorithms allows to significantly reduce random errors of measurement results and significantly reduce the impact of dynamic errors on the efficiency of controlling the frequency of the sensing signal by fulfilling the Bragg condition.

Системи радіоакустичного зондування атмосфери (РАЗ) забезпечують вимірювання основних характеристик атмосфери: температури, вологості, повітря, швидкості вітру, параметрів турбулентності [1,2,3]. Вимірювання температурних профілів засноване на використанні залежності швидкості звуку в атмосфері від температури повітря, а також на частковому відбитті електромагнітних хвиль від неоднорідностей щільності повітряного середовища, створюваних звуковою хвилею.

Основні обмеження систем РАЗ щодо точності та оперативності отримання характеристик атмосфери пов'язані з порушенням умови Брегга по трасі зондування, фізичною причиною яких є зміна довжини хвилі акустичних коливань в атмосфері внаслідок зміни швидкості звуку з висотою, що призводить до зменшення амплітуди розсіяного радіосигналу і точності вимірювань параметрів середовища [1,3].

Умова Брегга, що визначає співвідношення довжин зондувальних сигналів, має вигляд [3]

$$\lambda_e = 2\lambda_s \sin\theta, \quad (1)$$

де λ_e - довжина електромагнітної хвилі; λ_s - довжина хвилі акустичних коливань; θ - кут між фронтом акустичної хвилі та напрямом поширення радіохвилі.

Таким чином, точність і оперативність методу зондування зменшується внаслідок порушення умов Брегга по трасі зондування через зміни метеорологічних умов [4,5]. В якості основного напрямку адаптації систем РАЗ до умов, що змінюються, є адаптація шляхом змін частот зондуваль-

них акустичних та електромагнітних сигналів. Існуючи методи частотної адаптації не є достатньо ефективними, тому розроблено новий метод, синтезований з використанням математичних методів оптимізації, якій враховує вплив зовнішнього середовища на роботу системи радіоакустичного зондування та забезпечує підвищення основних якісних показників систем зондування.

У доповіді розглядається синтез алгоритму частотної адаптації систем РАЗ до метеорологічної обстановки, що змінюється, на основі адекватної моделі радіоакустичного інформаційного каналу і з використанням основних досягнень теорії стохастичного оптимального управління та теорії вимірювальних радіосистем. Розроблений алгоритм синтезований у відповідності з теоремою розділення, яка відома з теорії вимірювальних радіосистем. Він включає послідовно виконувани операції оптимальної лінійної фільтрації одержуваних оцінок інформаційного параметра розсіяного радіосигналу і детермінованого управління частотою зондувального радіосигналу. Основну увагу у статті приділено розробці алгоритму оптимальної лінійної фільтрації результатів вимірювань, що виконується в реальному масштабі часу, якій задається швидкістю поширення звукових хвиль в атмосфері, вибору адекватних математичних моделей висотних профілів швидкості звуку в атмосфері, що використовуються в процесі фільтрації, та аналізу отриманих результатів адаптації методом математичного комп'ютерного моделювання.

Розглядається динаміка процесу налаштування системи РАЗ на умову Брегга, вплив на цей процес адаптації флуктуаційних та динамічних похибок результатів вимірювань швидкості звуку в різних точках профілю та наочно показується необхідність їхнього врахування при реалізації алгоритму частотної адаптації та управління частотою зондувального радіосигналу. Використання в алгоритмі адаптації процедури стохастичної фільтрації дозволяє зробити процес управління частотою зондувального радіосигналу детермінованим.

Образне уявлення труднощів щодо налаштування на умову Брегга в РАЗ атмосфери дозволяє передати випадок [4], що стався в 19 столітті. Поява на небі нової яскравої комети привернула до себе увагу багатьох астрономів світу, які пильно спостерігали за її переміщенням по небосхилу. Однак комета в якийсь момент часу несподівано зникла з поля зору і астрономи звернулися з проханням про допомогу до відомого математика Гауса. Гаус надав рекомендації і комета була виявлена при уважному спостереженні. Виразному її спостереженню заважала туманність, до якої потрапила комета. Гаус згладив за допомогою методу найменших квадратів наявні результати вимірювань розташування комети і виконав їхню екстраполяцію на поточний момент часу.

Технічно частотну адаптацію систем РАЗ доцільно реалізовувати за допомогою синтезаторів частоти, що використовуються як при формуванні як акустичного, так і електромагнітного сигналів. Побудова синтезатора

для формування акустичного сигналу не становить значних технічних труднощів. Синтезатор радіосигналу, поряд з оперативністю перебудови частоти, повинен забезпечувати також високу стабільність частоти сигналу, що випромінюється, яка може бути забезпечена тільки при використанні високостабільного прецизійного кварцового генератора або стандарту частоти.

Швидкість звуку під впливом зміни метеорологічних параметрів атмосфери в реальних умовах змінюється в достатньо широкому діапазоні значень. Тому адаптація во всьому діапазоні змін швидкості звуку не може бути забезпечена тільки зміною частоти електромагнітного зондувального сигналу. Додатково перед началом зондування змінюється також частота акустичного зондувального сигналу.

Синтезований удосконалений алгоритм адаптації та управління частотами зондувальних акустичних та електромагнітних сигналів систем РАЗ дозволить суттєво підвищити якісні показники таких систем – точність вимірювання температури атмосфери, оперативність зондування, і дозволить також збільшити дальність дії систем радіоакустичного зондування атмосфери.

Список використаних джерел:

1. Ситнік О.В., Карташов В.М. Радіотехнічні системи. Навч. Посібник. Х.: Сміт, 2009. 448 с.
2. Kartashov V.M., Tikhonov V.A., Voronin V.V. and Tymoshenko L.P. Complex model of random signal in problems of acoustic sounding of atmosphere // *Telecommunications and Radio Engineering*, V. 75, Iss. 20, 2016; pp.1885–1892.
3. Semenets V. V., Kartashov V.M., Leonidov V. I. Registration of refraction Phenomenon in the Problem of acoustic Sounding of Atmosphere in Airport Zone. *Telecommunications and Radio Engineering*, Vol. 77, Iss. 5, 2018; pp.461–468.
4. Oleksandr Sotnikov, Vladimir Kartashov, Oleksandr Tymochko, Oleg Sergiyenko, Vera Tyrsa, Paolo Mercorelli, Wendy Flores-Fuentes. Methods for Ensuring the Accuracy of Radiometric and Optoelectronic Navigation Systems of Flying Robots in a Developed Infrastructure. Chapter 16// *Machine Vision and Navigation*. -Springer, Cham. PP.537-578.
5. Murrieta-Rico, F.N., Sergiyenko, O.Y., Petranovskii, V., Hernandez-Balbuena D., Linder, L., Tyrsa, V., Rivas-Lopez M., Nieto-Hipolito, J.I., Kartashov, V.M. Pulse width influence in fast frequency measurements using rational approximations. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 2016, v.86, pp. 67-78.