

Система позиціонування акустичних сенсорів

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова¹

Анотація. У роботі представлено результати дослідження і розробки роботизованої системи позиціонування спрямованих акустичних сенсорів на джерела сигналу. Прикладний характер роботи визначається застосуванням цієї системи у процесі керування подрібненням матеріалів у кульовому млині, де точність оцінювання гранулометричного складу звукометричним методом безпосередньо пов'язана з якістю акустичних сигналів. Запропонований підхід підвищує точність, надійність і адаптивність акустичного контролю, що робить його перспективним для впровадження в різноманітні автоматизовані технологічні процеси.

Ключові слова: акустичні сенсори, цифрова обробка сигналів, позиціонування, електричний привод, подрібнення матеріалів, система керування.

Акустичні сенсори знаходять широке застосування у таких сферах, як моніторинг технічного стану обладнання, мехатроніка, робототехніка, автономна навігація, інтелектуальні системи безпеки та багатьох інших. Інформативність акустичних сигналів значною мірою залежить від коректного розміщення спрямованих сенсорів у просторі, що забезпечує максимальну якість прийому, зниження рівня шумів та підвищення чутливості за корисним сигналом. У багатьох застосуваннях, де джерела шуму можуть бути рухомими, положення сенсорів повинно також змінюватися в реальному часі, тобто ставиться задача створення автоматичної слідуючої системи. Позиціонування спрямованих акустичних сенсорів на джерелі сигналу дозволяє забезпечити просторову селективність та покращити результати подальшої обробки сигналів. В умовах використання автоматизованих або роботизованих систем це є ключовим чинником підвищення ефективності систем «машинного слуху». Таким чином, розробка ефективних методів і систем керування позиціонуванням акустичних сенсорів є важливою задачею, яка безпосередньо впливає на якість, точність і надійність сучасних акустичних вимірювальних та діагностичних систем.

Метою дослідження є синтез комп'ютерно-інтегрованої системи керування позиціонуванням спрямованих акустичних сенсорів при акустичному методі визначення гранулометричного складу подрібненого матеріалу в кульовому млині в умовах невизначеності технологічного середовища. Запропонована система забезпечує автоматичне налаштування просторового положення сенсорів для підвищення стабільності акустичних характеристик, що корелюють із розміром часток матеріалу. Це дозволяє отримувати інформативні параметри процесу подрібнення, необхідні для прийняття керуючих технологічних рішень у режимі реального часу.

Для досягнення поставленої мети було запропоновано експериментальну механічну конструкцію у вигляді двовісьового робота-маніпулятора, на якій закріплюються акустичні сенсори. Механізм позиціонування має два ступені свободи: обертання в горизонтальній площині (кутове позиціонування по колу) та нахил або підйом/опускання сенсорного вузла для позиціонування по вертикалі. Зворотнім зв'язком у системі позиціонування слугують сигнали з акустичних сенсорів, закріплених на кінцевій ланці роботизованої платформи. Кожна ступінь руху приводиться в дію окремим керованим кроковим мотор-редуктором. Вибір крокових двигунів зумовлений можливістю керування їх швидкістю, що значно покращує динаміку та точність позиціонування.

В роботі проведено аналіз існуючих кінематичних схем роботів, та було прийнято рішення, що двовісьова схема, що працює у полярній системі координат, є достатньою для вирішення поставленої задачі. При цьому враховувались не тільки критерії якості позиціонування сенсорів у просторі, а й масо-габаритні та економічні показники. Використання кінематичних схем з

трьома та більше вісями принципово не покращує якість позиціонування акустичних сенсорів, однак значно ускладнює систему керування рухом.

Акустична система включає три мікрофони із суперкардіоїдною діаграмою спрямованості, які розташовуються безпосередньо біля корпусу млина. Різниця потужності сигналів, попарно отримана з мікрофонів, дозволяє позиціонувати сенсорний модуль у двох площинах. Акустичні сигнали, отримані від сенсорів, дозволяють непрямим методом оцінити гранулометричний склад матеріалу, що подрібнюється. Система позиціонування забезпечує збір даних з різних точок для підвищення точності оцінювання. Це дозволяє реалізувати зворотний зв'язок у системі автоматичного керування, адаптуючи параметри подрібнення в реальному часі.

Система керування позиціонуванням акустичних сенсорів побудована на базі портативного комп'ютера, який виконує функції керування, обробки та зберігання інформації. Для взаємодії з виконавчими механізмами використовується модуль введення/виведення дискретних сигналів, що з'єднується з генераторами імпульсів і драйверами крокових двигунів.

Запропонована система керування має можливість інтеграції в сучасні комп'ютерно-інтегровані виробничі середовища, наприклад в SCADA-системи. Її використання дозволяє підвищити якість контролю, зменшити людський фактор та забезпечити адаптивність до умов невизначеності, що особливо актуально в умовах складних або слабо формалізованих технологічних процесів.

У результаті проведеного дослідження було розроблено комп'ютерно-інтегровану систему позиціонування акустичних сенсорів, що забезпечує точне просторове керування положенням сенсорних елементів для підвищення якості збору акустичної інформації. Система може бути ефективно застосована для моніторингу процесу подрібнення матеріалів у кульовому млині, де акустичні параметри слугують інформативними ознаками поточного стану. Запропонований підхід має потенціал до розширення та впровадження в інші галузі акустичного контролю.

Рябушко Андрій Валерійович, старший викладач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, Andrii.Riabushko@kname.edu.ua

Кулаєнко Олег Олександрович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, oleh.kulaienko@kname.edu.ua

Блажко Володимир Володимирович, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, blazhko.vladimir@kname.edu.ua

Acoustic Sensor Positioning System

***Abstract.** The paper presents the results of research and development of a robotic system for positioning directional acoustic sensors toward signal sources. The applied nature of the work is determined by the use of this system in controlling the material grinding process in a ball mill, where the accuracy of granulometric composition estimation by acoustic methods is directly dependent on the quality of the acoustic signals. The proposed approach enhances the accuracy, reliability, and adaptability of acoustic monitoring, making it a promising solution for implementation in various automated technological processes.*

***Keywords:** acoustic sensors, digital signal processing, positioning, electric drive, material grinding, control system.*

Andrii Riabushko, Senior Lecturer at the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Andrii.Riabushko@kname.edu.ua

Oleh Kulaienko, PhD in Technical Sciences, Associate Professor. at the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, oleh.kulaienko@kname.edu.ua

Volodymyr Blazhko, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, blazhko.vladimir@kname.edu.ua