

Олександр Васілевський, д.т.н., проф.

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ІНДУСТРІЯ 4.0

Однією з актуальних проблем при застосуванні принципів метрології та метрологічного забезпечення в Індустрії 4.0 є необхідність розробки концепції економічно ефективного простежуваного калібрування сенсорів MEMS для приписування надійних значень непевностей вимірювань на виході сенсорів [1-7]. Сенсори MEMS дуже економічні і можуть бути легко інтегровані в існуючі системи у великих кількостях. Принцип "великий це погано" спрямований на використання багатьох ЗВТ для компенсації незадовільних метрологічних характеристик окремих сенсорів. Як правило це ґрунтується на припущенні того, що завдяки вмілому використанню інтелектуальних методів опрацювання, шаблони результатів вимірювань можуть використовуватися так само, як результати вимірювань від окремих еталонних сенсорів. Однак реальна перевірка такого припущення, а також порівняння результатів вимірювань на інших вимірювальних каналах можливі лише з урахуванням непевностей вимірювань та простежуваності до одиниць SI. Існуючі методи калібрування зазвичай занадто складні і дорогі для сенсорів MEMS. Тому одним із підходів є впровадження методів пакетного калібрування, де кілька сенсорів калібруються одночасно для економії часу та грошей. Така концепція вже використовується під час періодичної метрологічної перевірки сенсорів MEMS та при їх автоматизованому тестуванні. Для цього використовуються калібровані еталонні сенсори, які встановлюються на об'єкті вимірювання. Тоді сенсори, які підлягають періодичній перевірці можуть бути відкалібровані безпосередньо на об'єкті вимірювання на основі концепції онлайн калібрування, що полягає у підключенні до MEMS сенсорів додаткового сигналу GPS для отримання абсолютного значення часу, що накладається на результати вимірювань величин, і використанні спеціальної плати мікроконтролера «Smart-Up-Unit», яка може вміщувати один або декілька сенсорів MEMS та має можливість підключення до зовнішніх простежуваних таймерів для забезпечення попереднього опрацювання вимірюваних даних в реальному часу. Відкалібрований таким чином сенсор можна під'єднувати до веб-сервісів, що спрощує інтеграцію в Індустрію 4.0 та Інтернет речей. Таким чином, за допомогою математично-статистичних методів усі змонтовані сенсори MEMS можуть бути відкалібровані одночасно. Така процедура називається калібруванням в один дотик.

Виробництво майбутнього відповідно до концепції Індустрії 4.0 багато в чому базується на мережевій сенсорній технології та інтелектуальних методах оцінки. Тому концепції, процедури та стандарти для метрології (метрологічного забезпечення) в Індустрії 4.0 необхідні для побудови відповідної метрологічної інфраструктури. Необхідно враховувати весь життєвий цикл даних - від засобу вимірювання до прийняття рішення, заснованого на цих даних.

Простежуване калібрування вимірювального обладнання є основою для кожного точного вимірювання, саме тому результати вимірювань будуть надійними і їх можна буде порівнювати та відтворювати. Розвиток основних метрологічних досліджень в останні десятиліття загалом зосереджувався на підвищенні точності, нових вимірюваних змінних та нових принципах вимірювання. Однак, при більшій інтеграції цифрових технологій у вимірювальні прилади, швидко зростаючому використанні сенсорних мереж та тенденції до інтегрованої попередньої обробки в так званих "інтелектуальних сенсорах" необхідні абсолютно нові підходи до розробок. Наприклад, недорогі сенсори MEMS доступні в надзвичайно великих кількостях і роблять традиційні підходи до калібрування економічно не вигідними; чисто цифрові вихідні сигнали більше не дозволяють розділяти сенсор і попередню обробку для калібрування; вбудовані системи значно ускладнюють методи попередньої обробки. Таким чином на найближче десятиліття відкриються нові галузі наукових досліджень і розробок для метрологічного забезпечення Індустрії 4.0. Сенсорна мережа - це не лише просторово розподілена вимірювальна система, а загалом мережа вимірювально-інформаційних систем, що може вміщувати багато різноманітних сенсорних елементів. Також це може бути і єдиний інтелектуальний сенсор, який визначає параметри навколишнього середовища за допомогою відповідних вимірювальних перетворювачів. У галузі контрольного проектування синтез інформації з декількох джерел не є рідкістю та існують відповідні процедури їх опрацювання. При цьому розгляд непевності вимірювання зазвичай не відповідає принципам метрології [8], але переслідує такі стратегії, як надійний контроль чи оцінка, як, наприклад, у [9 - 14]. Поєднання таких розробок з принципами GUM та його методологією вимагає

фундаментальних досліджень орієнтованих на застосування додатків керівництва GUM [15, 16], але для цього потрібні гнучкі програмні рішення. Це означає зміну парадигми для більшості метрологічних науково-дослідних інститутів.

Ключовим завданням у такому поєднанні методів машинного навчання, інтелектуальних сенсорів та інших технологічних елементів - є підтримка довіри до даних, алгоритмів та процесів. Мова іде про якість даних, яка напряму залежить від наявності концепції непевності (невизначеності) вимірювань для підтримки метрологічної інфраструктури [14]. Щоб охопити весь інформаційний потік, така інфраструктура повинна, серед іншого, включати простежуваність калібрування інтелектуальних сенсорів з урахуванням залежних від часу ефектів, метрологічну обробку складних сенсорних мереж та оцінку непевності для агрегування даних та способів прийняття рішень.

Література

1. Васілевський О. М. Нормування показників метрологічної надійності / О. М. Васілевський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2011. - № 4. - С. 9-13.
2. Schütze A. Sensorik und Messtechnik für die Industrie 4.0 / A. Schütze, N. Helwig // *tm - Technisches Messen*. – 2017. - 84 (5). – pp. 310-319.
3. Vasilevskiy O. M. Calibration method to assess the accuracy of measurement devices using the theory of uncertainty // *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, Volume 5, Issue 04-403.
4. Wilkens V. Amplitude and phase calibration of hydrophones up to 70 MHz using broadband pulse excitation and an optical reference / V. Wilkens, C. Koch // *JASA*. – 2004. - 115 (6). - pp 2892-12.
5. Vasilevskiy, O.M., & Didych, V.M., (2020) „The method of expressing the uncertainty of dynamic measurements“, *Modern engineering research: topical problems, challenges and modernity* : Collective monograph. - Riga : Izdevnieciba “Baltija Publishing”, pp. 63-83, ISBN 978-9934-588-47-1.
6. Podzharenko V.O. Diagnostics of technical condition of electromechanical systems for the logarithmic decrement / V. O.Podzharenko, O. M. Vasilevskiy // *Proceedings of Donetsk National Technical University*. – 2005. - № 88. - pp. 138–144.
7. Васілевський О. М. Оцінка невизначеності вихідних сигналів засобів вимірювальної техніки в динамічних режимах роботи / О. М. Васілевський // *Системи обробки інформації*. – 2010. – № 4 (85). – С. 81 - 84.
8. BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, (2008) “Evaluation of measurement data: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement”.
9. Xia Y. Robust Kalman filtering for systems under norm bounded uncertainties in all system matrices and error covariance constraints / Y. Xia, J. Han // *J. System Sci. and Complexity*. – 2005. - 18 (4). - pp. 439-444.
10. Васілевський О. М. Елементи теорії підвищення точності вимірювання та синхронізації кутових швидкостей роторів взаємозв'язаних електромоторів: монографія / О. М. Васілевський, П. І. Кулаков. - Вінниця: ВНТУ.-2011. - 176 с.
11. Поджаренко В. О. Оцінка вірогідності автоматизованого контролю складових елементів гумусу в ґрунті / В. О. Поджаренко, В. М. Дідич, О. М. Васілевський // *Вісник національного університету „Львівська політехніка”*. Серія: „Автоматика, вимірювання та керування”. – 2009. - № 639. - С. 51 – 54.
12. Vasilevskiy O.M. Means for measuring the dynamic torque electric motors and an analysis of its accuracy / O. M. Vasilevskiy // *Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiiia*. – 2012. – 73. - pp. 52–56.
13. Сопрунюк П. М. Неопределенность результатов измерений при контроле асинхронности вращения электромеханических преобразователей / П. М. Сопрунюк, А. Н. Василевский, Ю. А. Чабанюк // *Системи обробки інформації*. – Харків. – 2006. – №7 (56). – С. 72 – 75.
14. Васілевський О.М. Непевність результатів вимірювань, контролю та випробувань : підручник / О. М. Васілевський, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський. – Херсон: «ОЛДІ-ПЛЮС», 2020. – 352 с. - ISBN 978-966-289-374-8.
15. BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, (2008) “Evaluation of measurement data - Supplement 1 to the “Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement” - Propagation of distributions using a Monte Carlo method”.
16. BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, (2011) “Evaluation of measurement data: Supplement 2 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Extension to any number of output quantities”.