

УДК 621.391.26
DOI: 10.31891/2219-9365-2020-65-1-20

ФЕДУЛА М. В., КЛЮЦЮ Ю. П., ФОРКУН Ю. В.
Хмельницький національний університет

ПРОЕКТУВАННЯ СЕНСОРНИХ ЛЮДИНО-МАШИНИХ ІНТЕРФЕЙСІВ З ФІЛЬТРАЦІЄЮ МЕХАНІЧНИХ КОЛИВАНЬ

Розвиток автоматизованих систем керування протягом останніх десятиліть вимагає значних змін та вдосконалення людино-машинних інтерфейсів. Відомі кнопочні панелі керування не відповідають умовам, необхідним для реалізації ефективної людино-машинної взаємодії. Протягом останнього десятиліття відбувається активний розвиток маніпуляторів і сенсорних панелей, що забезпечують більш ефективну взаємодію людини із складними автоматизованими системами.

Основна задача, яка вирішується в процесі проектування ефективних людино-машинних інтерфейсів, полягає у досягненні високої ефективності подання людині інформації про роботу пристрою та високої ефективності передачі команд від людини до пристрою, з мінімальними часовими затримками.

У роботі розглянуто особливості проектування сенсорних людино-машинних інтерфейсів з фільтрацією механічних коливань. Фільтрація коливань дозволяє значно підвищити точність ідентифікації дій оператора. Збільшення точності ідентифікації дозволяє знизити ймовірність помилок при інтерпретації та подальшому виконанні команд оператора автоматизованою системою.

Ключові слова: людино-машинний інтерфейс, сенсорна панель, механічні коливання, обробка сигналів, фільтрація.

FEDULA M., KLYOTS Yu., FORKUN Yu.
Khmelnitskyi National University

DESIGN OF SENSOR HUMAN-MACHINE INTERFACES WITH MECHANICAL OSCILLATION FILTERING

The development of automated control systems in recent decades requires significant changes and improvements in human-machine interfaces. Known push-button control panels do not meet the conditions necessary for the implementation of effective human-machine interaction. Over the last decade, there has been an active development of manipulators and touch panels that provide more efficient human interaction with complex automated systems.

The main task, which is solved in the process of designing efficient human-machine interfaces, is to achieve high efficiency of providing human information about the operation of the device and high efficiency of command transmission from human to device, with minimal time delays.

The peculiarities of designing sensory human-machine interfaces with filtering of mechanical oscillations are considered in the work. Vibration waveform filtering can significantly increase the accuracy of identification of operator actions. Increasing the identification accuracy reduces the probability of errors in the interpretation and subsequent execution of operator commands by the automated system.

Keywords: human-machine interface, touch panel, mechanical oscillations, signal processing, filtering.

Вступ. Постановка задачі. Активний розвиток автоматизованих систем керування протягом останніх десятиліть вимагає значних змін та вдосконалення людино-машинних інтерфейсів. На даний час кнопочні панелі керування не відповідають умовам, необхідним для реалізації ефективної людино-машинної взаємодії. Відбувається активний розвиток різних типів маніпуляторів та сенсорних панелей, які забезпечують більш ефективну взаємодію людини із складними автоматизованими системами.

Задача проектування ефективного людино-машинного інтерфейсу полягає в досягненні високої ефективності подання людині інформації про роботу пристрою та високої ефективності передачі команд від людини до пристрою, з мінімальними часовими затримками.

Проте, слід зазначити, що разом із зростанням ефективності людино-машинного інтерфейсу, зростають також затрати на його реалізацію. Наприклад, виготовлення спеціалізованих сенсорних панелей вимагає реалізації механічних давачів малих розмірів та відповідних цифрових інтерфейсів для взаємодії із електронно-обчислювальними пристроями.

Таким чином, завдання спрощення будови сенсорних панелей при збереженні високої ефективності людино-машинної взаємодії є актуальним і вимагає проведення подальших досліджень.

Попередні роботи. Сенсорні людино-машинні інтерфейси відомі з другої половини ХХ століття. Відомі реалізації сенсорних інтерфейсів на основі сітки інфрачервоних променів [1, 2], резистивних електричних кіл [3, 4] та механічних давачів [5]. Сенсорні людино-машинні інтерфейси на основі сітки інфрачервоних променів характеризуються достатньо високою точністю та швидкістю реакції на дії оператора [6]. Проте такі інтерфейси характеризуються достатньо високими показниками енергоспоживання, і вимагають значних затрат у випадках необхідності реалізації високої роздільної здатності. Тому значно більшого поширення набули сенсорні панелі на базі резистивних електричних кіл. У таких інтерфейсах людино-машинна взаємодія відбувається шляхом замикання контактів резистивної

матриці. Сенсорні панелі на базі резистивних матриць характеризуються високою роздільною здатністю, реалізація якої не вимагає значних затрат [7]. Проте, слід зазначити, що резистивні матриці характеризуються вищими значеннями похибок внаслідок паразитних параметрів електричних кіл (переважно паразитний опір та ємність), які виникають через забруднення та механічну деградацію сенсорних панелей. Сенсорні людино-машинні інтерфейси на базі механічних давачів дозволяють уникнути більшості вказаних недоліків [5]. При використанні цифрових давачів забруднення та механічна деградація поверхні не призводять до значного збільшення похибок інтерфейсу. Сучасні механічні давачі характеризуються надзвичайно високою чутливістю, що дозволяє отримати високу точність реакції людино-машинного інтерфейсу на дії оператора. Проте висока чутливість таких давачів призводить до зростання рівня прийому завад. На практиці як правило сигнали від давачів до пристрою обробки надходять в умовах дії відносно потужних завад різної природи. Такі завади можуть бути викликані механічною вібрацією, зовнішніми електромагнітними коливаннями, тепловими та іншими шумами електричних елементів, ефектами квантування та дискретизації, а також можуть виникати внаслідок індивідуальних особливостей дій оператора. Тому для реалізації ефективної взаємодії людини з автоматизованою системою необхідно мінімізувати рівень завад у складі сигналів механічних давачів з метою коректної ідентифікації, інтерпретації та виконання команд оператора.

У сучасних людино-машинних інтерфейсах з метою боротьби із завадами використовують велику кількість різних засобів. Серед них вдосконалення механічних властивостей матеріалу поверхні, підвищення завадостійкості давачів, екранування провідників та розвиток методів і алгоритмів обробки сигналів давачів.

Покращення властивостей матеріалів та характеристик електричних елементів давачів вимагає значних матеріальних витрат і, відповідно, може призводити до значного збільшення вартості обладнання. Підвищення ефективності методів та алгоритмів обробки сигналів давачів у поєднанні із забезпеченням електромагнітної сумісності пристроїв може забезпечувати значно вищу економічну ефективність.

У статті розглянуто особливості застосування методів обробки сигналів механічних давачів в процесі проектування сенсорного людино-машинного інтерфейсу, що дозволяє знизити ймовірність помилок ідентифікації команд оператора.

Основна частина. Розглянемо структуру сенсорного людино-машинного інтерфейсу (рис. 1), основними елементами якого є механічні давачі (на базі акселерометрів), інтерфейси давачів та цифровий пристрій обробки сигналів давачів, який може бути з'єднаний із мережею електронно-обчислювальних машин або з іншим обладнанням.

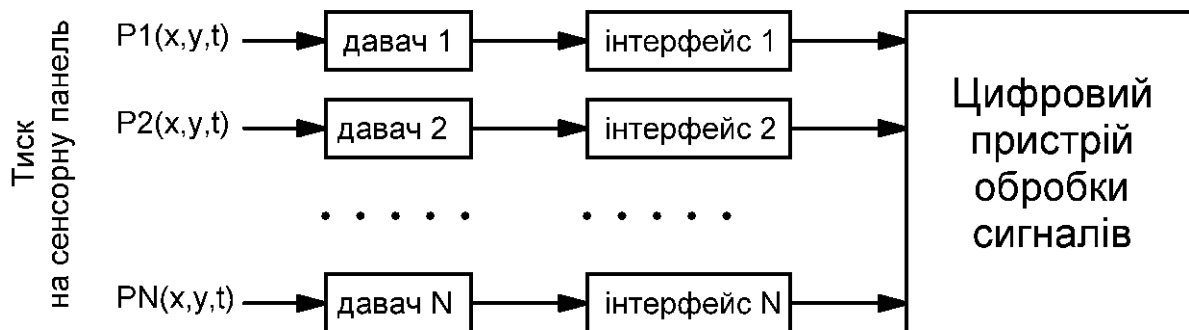


Рис. 1. Структурна схема інтерфейсу

Механічні давачі (акселерометри) вимірюють прискорення у точках свого розташування, і передають сигнали до інтерфейсів, які виконують підсилення сигналів та перетворення їх у формат двійкового коду, який приймається цифровим пристроєм обробки сигналів. Розташування механічних давачів визначається вимогами до роздільної здатності сенсорного інтерфейсу та ефективністю методів і алгоритмів обробки сигналів, які надходять від давачів.

Механічні коливання поверхні, які виникають внаслідок дотику оператора при відсутності сторонніх впливів, описуються математичною моделлю виду (1):

$$P(x, y, t) = D \left(\frac{\partial^4 s}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 s}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 s}{\partial y^4} \right) + \mu \frac{ds}{dt} + \rho H \frac{d^2 s}{dt^2}, \quad (1)$$

де $P(x, y, t)$ – тиск на сенсорну поверхню в точці (x, y) в момент часу t , s – вертикальне зміщення сенсорної поверхні, H – вертикальне зміщення поверхні, ρ – густина, μ – коефіцієнт поглинання, $D = EH^3 / (1 - \nu^2)$, E – модуль Юнга, ν – коефіцієнт Пуассона [5].

На практиці, крім реакції на дотик оператора, на поверхні завжди присутні коливання, викликані іншими зовнішніми механічними впливами. Особливо сильно такі завади проявляються на виробничому обладнанні, до складу якого входять механічні приводи великої потужності. Таким чином математична модель зовнішнього впливу описується сумою тиску дотику людини $P_0(x, y, t)$ та випадкової складової $\xi_1(x, y, t)$, яка визначається сторонніми механічними впливами:

$$P(x, y, t) = P_0(x, y, t) + \xi_1(x, y, t). \quad (2)$$

На вході пристрою обробки сигналів від давачів присутній спотворений сигнал $G(t)$, який є функціоналом від реакції поверхні на дотик людини $s_0(x, y, t)$, яка є розв'язком рівняння (1) при умові $P(x, y, t) = P_0(x, y, t)$, та вектора завад $\varepsilon(x, y, t) = \{\xi_1(x, y, t), \xi_2(x, y, t), \xi_3(x, y, t), \dots, \xi_K(x, y, t)\}$, де $\xi_1(x, y, t)$ - вплив сторонніх механічних коливань на сенсорну поверхню, $\xi_2(x, y, t), \dots, \xi_K(x, y, t)$ - завади різної природи, які виникають в каналі передачі сигналу від давача до приймача (середніх власні шуми електричних елементів, шуми квантування, наведені електричні коливання та ін.).

Процес цифрової фільтрації прийнятого сигналу $G(t)$ описується функціоналом:

$$S(m) = F[G(t)], \quad (3)$$

де $S(m)$ – m -й відлік цифрового сигналу, який є оцінкою реальної реакції сенсорної поверхні на механічний вплив людини-оператора.

Процес лінійної цифрової фільтрації сигналу описується виразом:

$$S(m) = \sum_{k=1}^m a(k)G(m-k), \quad (4)$$

де $G(k)$ – дискретизований вхідний сигнал, $a(m)$ – імпульсна характеристика цифрового фільтра,

У випадку складних нелінійних спотворень та малої кількості давачів слід використовувати багатовимірну фільтрацію, яка описується рядами Вольєрра:

$$S(m) = \sum_{k_1=1}^m \sum_{k_2=1}^m \dots \sum_{k_n=1}^m a(k_1, k_2, \dots, k_n) \prod_{q=1}^n G(m-k_q) \quad (5)$$

У такому випадку імпульсна характеристика фільтра $a(k_1, k_2, \dots, k_n)$ n -вимірною. Таким чином, фільтрація механічних коливань сенсорного людино-машинного інтерфейсу дозволяє значно підвищити точність приймання команд оператора автоматизованою системою.

Висновки. У статті розглянуто сенсорний людино-машинний інтерфейс з фільтрацією механічних коливань. Фільтрація коливань дозволяє значно підвищити точність ідентифікації дій оператора. Збільшення точності дій команд оператора дозволяє знизити ймовірність помилок при інтерпретації та подальшому виконанні команд автоматизованою системою.

При високих значеннях відношення сигнал/шум у сенсорних людино-машинних інтерфейсах достатньо використовувати лінійну фільтрацію (4). Якщо присутня складна нелінійна взаємодія коливань сенсорної поверхні із завадами різної природи (наприклад, в умовах виробництва з використанням потужних електромеханічних приводів), то доцільно використовувати багатовимірну нелінійну фільтрацію (5) на основі рядів Вольєрра.

Розвиток методів та алгоритми аналізу нестабільних режимів коливань механічних давачів сенсорних людино-машинних інтерфейсів є перспективним напрямом та вимагає подальших досліджень.

Література

1. Chiang WJ, Kung CP, Chen SW, Chang CC, Wu CW. Flexible in-cell infrared a-si sensor. Dig. Tech. Pap. - SID Int. Symp., 2012. <https://doi.org/10.1002/j.2168-0159.2012.tb05784.x>.
2. Han SY, Jeon KS, Seo MS, Kim D, Cho B, Jeong K, et al. Characteristics of infrared photosensor using amorphous sige for in-cell touch panel. Dig. Tech. Pap. - SID Int. Symp., 2012. <https://doi.org/10.1002/j.2168-0159.2012.tb05782.x>.
3. Drewniak EI, Crisco JJ, Spenciner DB, Fleming BC. Accuracy of circular contact area measurements with thin-film pressure sensors. J Biomech 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2006.12.002>.
4. Roh JS. Textile touch sensors for wearable and ubiquitous interfaces. Text Res J 2014. <https://doi.org/10.1177/0040517513503733>.
5. Poletkin K, Yap XX, Khong AWH. A touch interface exploiting the use of vibration theories and infinite impulse response filter modeling based localization algorithm. 2010 IEEE Int. Conf. Multimed. Expo, ICME 2010, 2010. <https://doi.org/10.1109/ICME.2010.5582570>.
6. Enns NRN, MacKenzie IS. Touchpad-based remote control devices, 1998. <https://doi.org/10.1145/286498.286717>.
7. Knite M, Teteris V, Kiploka A, Kaupuzs J. Polyisoprene-carbon black nanocomposites as tensile strain and pressure sensor materials. Sensors Actuators, A Phys., 2004. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2003.08.006>.

References

1. Chiang WJ, Kung CP, Chen SW, Chang CC, Wu CW. Flexible in-cell infrared a-si sensor. Dig. Tech. Pap. - SID Int. Symp., 2012. <https://doi.org/10.1002/j.2168-0159.2012.tb05784.x>.

2. Han SY, Jeon KS, Seo MS, Kim D, Cho B, Jeong K, et al. Characteristics of infrared photosensor using amorphous sige for in-cell touch panel. Dig. Tech. Pap. - SID Int. Symp., 2012. <https://doi.org/10.1002/j.2168-0159.2012.tb05782.x>.
3. Drewniak EI, Crisco JJ, Spenciner DB, Fleming BC. Accuracy of circular contact area measurements with thin-film pressure sensors. J Biomech 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2006.12.002>.
4. Roh JS. Textile touch sensors for wearable and ubiquitous interfaces. Text Res J 2014. <https://doi.org/10.1177/0040517513503733>.
5. Poletkin K, Yap XX, Khong AWH. A touch interface exploiting the use of vibration theories and infinite impulse response filter modeling based localization algorithm. 2010 IEEE Int. Conf. Multimed. Expo, ICME 2010, 2010. <https://doi.org/10.1109/ICME.2010.5582570>.
6. Enns NRN, MacKenzie IS. Touchpad-based remote control devices, 1998. <https://doi.org/10.1145/286498.286717>.
7. Knite M, Teteris V, Kiploka A, Kaupuzs J. Polyisoprene-carbon black nanocomposites as tensile strain and pressure sensor materials. Sensors Actuators, A Phys., 2004. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2003.08.006>.

Надійшла / Paper received: 30.02.2020

Надрукована / Paper Printed : 05.06.2020