

УДК 655+004.51+003.24

АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ ТАКТИЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ВИВЕДЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

Д. П. Лозовий, І. Р. Кілко, Т. І. Онищенко

Українська академія друкарства,
вул. Підголосько, 19, Львів, 79020, Україна

Для розгляду перспектив розв'язання проблем забезпечення інформацією осіб із вадами зору подано оглядову інформацію та аналіз наявних пристроїв передавання тактильної інформації, а також описано їхню будову. На підставі аналізу розглянуто головні проблеми освіти осіб із вадами зору, проаналізовано розробки в напрямі тактильного передавання інформації, створено їх класифікацію за принципом роботи, висвітлено основні переваги і недоліки кожного з цих принципів, описано алгоритм роботи та проведено пошук додаткових сфер застосування цих розробок. Зроблено припущення стосовно напрямів розвитку пристроїв передавання тактильної інформації в найближчому майбутньому.

Ключові слова: тактильні дисплеї, синтез мовлення, передавання інформації, ультразвук, гідрогель, електрошкірна стимуляція.

Постановка проблеми. Людина отримує 80–90% інформації про навколишній світ завдяки зору. Особам із вадами зору дуже важко повноцінно влитись у суспільство, знайти роботу. Саме тому проблема допомоги таким людям має вирішуватися не тільки на державному, але й на глобальному рівні. Катастрофічно залишається ситуація із підручниками для вишів, періодикою, книгами для дітей і навіть із художньою літературою. Прийнято вважати, що якщо є бібліотеки для сліпих у системі УТОС, то держава не повинна зважати на потреби незрячих читачів у масових бібліотеках. Утім, державна підтримка громадської організації не передбачає повноцінного фінансування закупівлі книжок, і тому доступ незрячих до книги дедалі погіршується. Незрячі переживають дискримінацію у доступі до інформації особливо болісно [1]. Значно кращою є ситуація у країнах Євросоюзу, де на законодавчому рівні передбачені програми, які допомагають людям з вадами зору стати повноцінними членами суспільства і не відчувати жодної дискримінації. Обов'язковим у державних установах Євросоюзу є маркування шрифтом Брайля на пакуванні, наявність таблиць із тактильно-крапковим шрифтом на входах у всі адміністративні будівлі. Держава піклується та оберігає інвалідів з вадами зору, надаючи їм пільги та допомогу. Для них працюють спеціальні школи та гуртки, де дітей навчають та розвивають їхні хобі. На жаль, ситуація в нашій країні змушує бажати кращого.

Аналіз наявних способів передавання тактильної інформації. Передавання інформації людям з вадами зору може відбуватись різними способами. Якщо це особи з частковою втратою зору, то зазвичай вони використовують спеціальні шрифти великого кеглю. Цей спосіб є досить простим в реалізації: якщо є настільний або планшетний комп'ютер, книга чи документ у цифровому вигляді конвертується в більший масштаб. У разі зображень використовуються

різні алгоритми, в яких поєднуються збільшення масштабу та контрастності. Широко використовуються також різноманітні аудіозаписи. На цей час вартість аудіопрогравачів постійно знижується, а кількість і якість інформації, яку вони можуть зберігати і відтворювати, зростає. Навіть більше, велика кількість пристроїв вже мають функції аудіопрогравача — це телевізори, радіоприймачі, мобільні телефони, планшетні та стаціонарні комп'ютери тощо. Маючи доступ до мережі Інтернет, можна знайти чимало аудіокниг, аудіолекцій та аудіоуроків, але проблема полягає в тому, що якісний матеріал українською мовою трапляється зрідка. Кількість перекладених на українську мову книг не встигає задовольняти щораз більший попит на них. Зазвичай аудіоматеріали створюють записуючи голос диктора. Останнім часом, з розвитком технологій і збільшенням їх обчислювальної потужності, дедалі ширше застосовують системи синтезу мовлення (Speech Synthesizing Engine). Ці програми здійснюють перетворення друкарського тексту в мовний сигнал [2]. Використання систем синтезу мовлення має ряд переваг: за наявності персонального комп'ютера та встановленого і налаштованого на ньому спеціального програмного забезпечення людина з вадами зору може сама конвертувати візуальну текстову інформацію у мовний сигнал із подальшим його збереженням для прослуховування або ж миттєвим прослуховуванням, що дає змогу переглядати веб-сторінки, спілкуватись за допомогою веб-месенджерів тощо; у відкритих веб-джерелах є багато систем синтезу мовлення, які розповсюджуються безкоштовно по ліцензії GPL; можливість тонкого налаштування параметрів синтезу мовлення для досягнення оптимального сприйняття інформації слухачем [3]. Проте і досі немає нормально функціонуючої системи синтезу саме української мови. Застосування синтезаторів російської мови для відтворення українського тексту дає негативні результати.

Мета статті — класифікація та опис принципів роботи тактильних дисплеїв (виведення інформації базується на кінестетичній формі передавання), розгляд перспектив їх використання для забезпечення повноцінної інтеграції людей з вадами зору в суспільство.

Виклад основного матеріалу дослідження. З розвитком технологій інформація, яку незрячі зможуть отримати, не обмежуватиметься лише тією, яка міститься в наявних у бібліотеці книгах. Поєднавши тактильні дисплеї з тактильними клавіатурами, можна дістати повноцінний пристрій введення-виведення інформації, який буде без перебільшення «вікном у світ знань». Ця технологія також знайшла широке застосування і в інших сферах. Наприклад, в неінвазійній хірургії, де операції можуть проводити за допомогою спеціальних маніпуляторів. Для створення зворотного зв'язку між діями оператора і рухом маніпуляторів буде використано тактильний дисплей. Такі пристрої стануть ще одним кроком до вдосконалення систем віртуальної реальності.

Сьогодні існує декілька принципів побудови тактильних дисплеїв, а саме — механічні пристрої, які поділяються на: електромеханічні, пневматичні, термоелектричні, ультразвукові, комбіновані та електронні. Очевидно, що

кожен із перелічених принципів має свої переваги і недоліки, які доцільно розглянути детальніше.

Механічні тактильні дисплеї є найдавніші і слугують основою для решти. Базовим принципом їхньої роботи є механічний дискретний вплив на ту чи іншу ділянку шкіри людини декількома рухомими елементами, який чергується з відсутністю впливу, тобто інформація передається тактами. Залежно від будови і параметрів дисплея частота і кількість інформації, яка виводиться за один такт, може варіюватись. Так, дисплей з великою кількістю рухомих елементів, розміщених в декілька рядків, має зворотно-пропорційну залежність частоти від кількості інформації. Це обмеження становить складність у виготовленні і енергетичній ефективності. Якщо розглядати електромеханічні дисплеї, то тут також є певний поділ, що залежить від того, як елементи стають рухомими — за допомогою електричних моторів, сервомоторів, крокових моторів, соленоїдів чи п'єзоелементів.

В Італійському технологічному інституті (Istituto Italiano di Tecnologia) було розроблено дисплей розміром 4x4 крапки, який здатний передавати форму об'єкта. Це досягається завдяки тому, що для регулювання висоти підйому використовують мотори з редукторами та зворотним зв'язком. На рис. 1 зображено кінематичну схему елемента дисплея шрифту Брайля, де рухомий елемент 2 в неактивному стані максимально виступає за площину поверхні дисплея 1 за допомогою пружини 3. Знизу до елемента кріпиться трос 4, який намотаний на вал редуктора 5. Таким чином, змінюючи кут оберту валу, натягується трос, долається опір пружини, і рухомий елемент зміщується до низу на певну величину. Мотор контролюється мікроконтролером, який з'єднаний з комп'ютером за допомогою USB підключення. На комп'ютері встановлена програма, яка інтерпретує інформацію в команди для мікроконтролера [4].

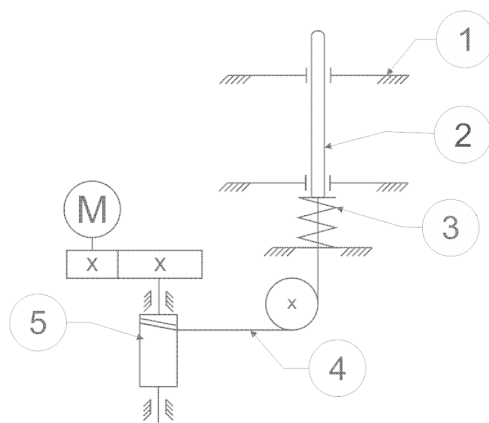


Рис. 1. Кінематична схема роботи елемента дисплея шрифту Брайля

В електромеханічних дисплеях, в яких використовуються сервоприводи та крокові двигуни, принцип роботи практично аналогічний описаному. Відмінність лише в тому, що зусилля від двигуна до елемента може надходити без

проміжних елементів. Перевагами таких дисплеїв є їхня здатність плавно регулювати висоту підйому рухомих елементів над поверхнею, що дає змогу передавати не просто якийсь певний символ, а й форму об'єкта [5]. Серед переваг є також їхня відносна простота та доступність компонентів. До вад належать менша надійність та довговічність саме механічних компонентів, складність у масштабуванні та велике енергоспоживання.

Багатьох із цих вад позбавлені електромеханічні тактильні дисплеї, елементи яких починають рухатися за допомогою соленоїдів чи п'єзоелементів. Принцип їх роботи полягає у втягуванні або виштовхуванні безпосередньо рухомого елемента чи важеля, який, своєю чергою, змінить положення елемента. Найпоширенішим є перший принцип роботи, де рухомий елемент є плунжером у середині котушки [6]. Кінематична схема роботи такого дисплея зображена на рис. 2.

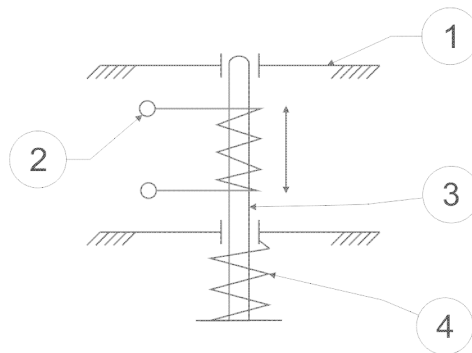


Рис. 2. Кінематична схема роботи електромеханічного елемента тактильного дисплея

В неактивному стані рухомий елемент 3 не виступає за площину поверхні дисплея 1. Але як тільки на котушку 2 подається струм, в ній виникає однорідне електромагнітне поле, спрямоване вздовж осі, яке змушує плунжер, долаючи зусилля опору пружини 4, піднятися над площиною дисплея 1. Саме така будова елементів лежить в основі більшості комерційних зразків, які на цей час представлені на ринку [7]. Такі дисплеї легко масштабуються, не потребують великої кількості механічних компонентів, мають більшу частоту виведення інформації та є більш енергоефективними, ніж тактильні дисплеї на основі моторів, що дає змогу використовувати їх у портативних пристроях. Проте вони не можуть регулювати висоту елемента з великою точністю та є складними у виготовленні [8].

Пневматичні дисплеї не набули широкого застосування, але з удосконаленням технології виробництва ситуація може змінитись. Так, у Каліфорнійському університеті в Берклі за допомогою тривимірного друку пластиком було розроблено прототип пневматичного тактильного дисплея (рис. 3), який відображає матрицю 5x5 крапок, має частоту оновлення 8 Герц і 3-бітну роздільну здатність. Для його виготовлення в САПР було створено тривимірну форму, яка згодом була надрукована на 3D-принтері.

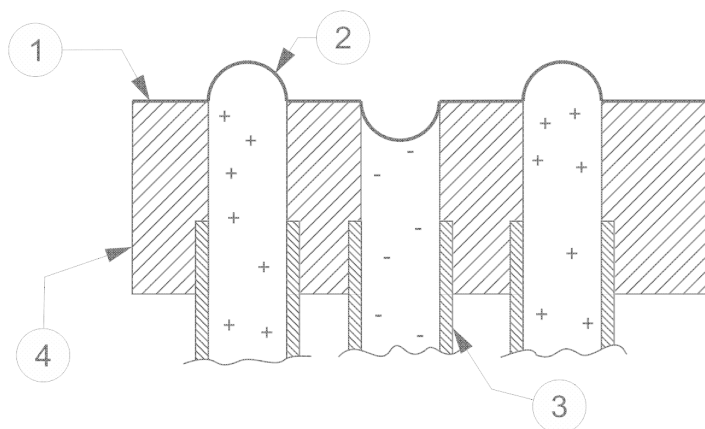


Рис. 3. Принципова схема роботи тактильних елементів пневматичного дисплея шрифту Брайля

Форма заповнюється силіконовою сумішшю, яка становить основу 4, після її висихання було отримано прототип. У нижній частині прототипу є отвори. Прототип виготовлений так, щоб отвори не проходили наскрізь, а були за декілька десятих міліметрів від верхньої площини 1. Таким чином забезпечується герметичність системи і наявність рухомих елементів 2, в ролі яких виступає тонкий шар силікону, що залишився над отворами. До нижньої частини під'єднуються трубки 3, якими подаватиметься стиснуте чи розріджене повітря. Якщо тиск газу в середині трубок 3 є менший за атмосферний тиск, то шар силікону 2 буде опускатись нижче від площини 1. Якщо тиск у трубках 3 буде більший, ніж атмосферний тиск, то елемент 2 підніматиметься над поверхнею 1. У випадку, якщо тиск з обох сторін мембрани буде однаковим, елемент 2 знаходитиметься на одному рівні з площиною 1. Контролюючи тиск у кожній із трубок, можна створювати рельєфні зображення або шрифти.

Спосіб впливу на тактильні рецептори за допомогою ультразвуку є цікавий тим, що для нього не потрібен контакт шкіри людини з поверхнею пристрою. Японські вчені з університету Токіо під керівництвом Такаюкі Хоші виготовили прототип ультразвукового тактильного дисплея. Він дає можливість отримати тактильні відчуття в довільній точці простору за допомогою нелінійних ефектів ультразвукового випромінювання, тобто за допомогою хвиль тиску, які створює звук. У прототипі було використано 324 ультразвукові випромінювачі, які працюють на частоті 40 кГц. Керуючи затримкою і амплітудою сигналу, що випромінює кожен з передавачів, вдається забезпечити появу однієї «фокальної точки» в необхідній ділянці простору. Досягається вихідний вплив до 1,6 грам-сили в фокальній точці, що являє собою область простору діаметром 20 мм. Частота вібрацій, які відчуває користувач у фокальній точці, може досягати 1 кГц [9].

Для того щоб використати переваги декількох принципів роботи, їх комбінують. Так група вчених з Дрезденського технічного університету виготовила гідрогелевий тактильний дисплей. Він складається з квадратної матриці

4225 крапель термочутливого гідрогелю, кожна з яких є приблизно 300 мкм в поперечині і відділена одна від одної таким самим проміжком. Один квадратний сантиметр такої матриці налічує 297 «крапель» гелю. Ці точки розміщені на чорній поліестеровій підкладці. Знизу знаходиться випромінювач, здатний формувати достатньо тонкий промінь світла для нагріву однієї окремої краплі. При температурі, нижчій ніж 29°C, висота кожної краплі становить 0,5 мм, але як тільки температура гелю перевищує 35°C, він виштовхує певну кількість води, за рахунок чого висота краплі збільшується в півтора рази. Швидко скануючи масив світловим променем і нагріваючи «точки», можна досягти утворення на ньому рельєфного зображення з високою роздільною здатністю. Коли промінь перестає нагрівати, елемент швидко розсіює тепло, в результаті чого вбирає виштовхнуту воду і повертається в початкове положення. Для запобігання випаровуванню води та для надання елементам чіткішої форми гель герметизують під пластиковою мембраною [10]. Ця розробка є перспективною завдяки своїй мініатюрності та надзвичайно легкому масштабуванню, а також низькому енергоспоживанню. У прототипу відсутні «класичні» механічні деталі, з яких складаються згадані вище дисплеї. Саме такі характеристики зумовлюють низьку кінцеву вартість пристрою, що відкриває шлях до його широкого застосування, наприклад, інтегрування з портативними пристроями типу смартфонів чи КПК.

Електронні дисплеї є найбільш прогресивним досягненням. Їхній принцип роботи полягає в створенні безпосереднього впливу на тактильні рецептори шкіри людини за допомогою електричних імпульсів. Сама ідея електрошкірної стимуляції має досить довгу історію, але її застосування обмежилось лише клінічними дослідженнями. Таке обмеження зумовлено двома причинами: складністю передавання тактильного відчуття достатньої чіткості та виразності; нестабільною залежністю між електричним струмом, який передається, та отриманим тактильним відчуттям. Цю проблему вдалось вирішити японським ученим з токійського університету, запропонувавши такі два методи. Перший із них полягає у використанні анодного струму для стимуляції і, відповідно, як результат — загострення викликаних відчуттів. Другий метод базується на управлінні струмом за допомогою притиску пальця, що дає змогу більш реалістично передавати тактильні відчуття. Прототип, розроблений токійськими вченими, базується на ідеї селективного стимулювання кожного окремого типу рецепторів, розміщених на нашій шкірі. Комбінування такого селективного стимулювання дає можливість відтворювати складніші тактильні відчуття. Прототип складається з матриці циліндричних електродів діаметром 1 мм та відстанню між центрами 2 мм.

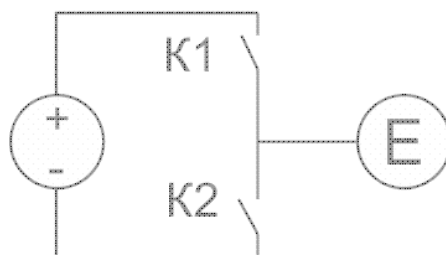


Рис. 4. Схематичне зображення підключення Н-півмосту до електрода тактильного дисплея

До кожного електрода підключений Н-півміст (рис. 4). Н-півміст являє собою електронну схему, яка дає можливість прикладати до виводу напругу різної полярності. При замиканні кнопки K1 електрод під'єднується до позитивного виводу джерела струму. Якщо замикається кнопка K2, то електрод під'єднується до негативного виводу. Якщо замкнуті кнопки K1 і K2, то електрод віддає статичний заряд і стає нейтральним.

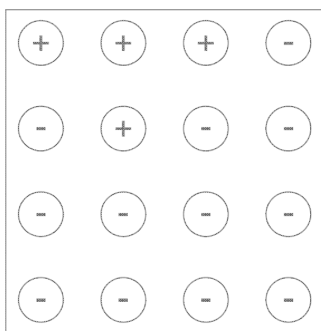


Рис. 5. Матриця електродів тактильного дисплея

Будова дисплея дає нам змогу атомарно змінювати заряд кожного з елементів (рис. 5). Для впливу на рецептори використовується певне чергування амплітудної та частотної модуляції. Частотна модуляція відбувається імпульсами тривалістю 0–500 мкс. Амплітудна модуляція відбувається струмом 0–10мА.

У процесі випробувань дисплея встановлено, що раптова зміна тактильного відчуття (менше 1 с) викликає «інвазивні» враження. Досить часто це може викликати страх і паніку, що є типовим явищем в електричній стимуляції. Для нівелювання цього явища вчені вирішили застосовувати зворотний зв'язок. Він був реалізований за допомогою розміщення тензодавача під дисплеєм. Підключивши давач до мікроконтролера, було створено можливість регулювання сили струму залежно від сили натиску на дисплей. Цей підхід дав змогу зменшити «шокові» явища електричної стимуляції [11].

Висновки. Методи передавання тактильної інформації невпинно розвиваються. Шрифт Брайля на час свого створення наносився на папір ручним способом, а сьогодні він відтворюється за допомогою спеціальних високотех-

нологічних пристроїв. Це є незаперечним свідченням того, що «прогрес не стоїть на місці». Можна простежити чітку тенденцію розвитку тактильних дисплеїв у напрямі зменшення їхніх габаритів, збільшення якості та швидкості передавання інформації. Проведений моніторинг засвідчив, що в перспективі перевагу віддаватимуть саме тим дисплеям, які мають малу кількість або взагалі не мають рухомих елементів. І це є правильною стратегією, оскільки рухоми елементи є менш точними; важчими в масштабуванні та виготовленні; вони більш схильні до зношування, внаслідок якого втрачаються їхні параметри. Зазначених недоліків позбавлені електронні дисплеї, тобто відсутній «механічний прошарок», який і здійснював вплив на рецептори. Для передавання інформації їм необхідно лише подавати електричні імпульси в місцях контакту зі шкірою користувача. Зчитування з електронних тактильних дисплеїв дає змогу підняти на новий якісний рівень технології навчання людей із вадами зору, але в пристроях такого типу зацікавлені не тільки незрячі. Можливості їх застосування є необмеженими: від оборонної сфери до сфери розважальних послуг.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Щороку кількість сліпих у світі зростає [Електронний ресурс] : Новини УНІАН. — Режим доступу: <http://health.unian.ua/country/152529-schoroku-kilkist-slipih-u-sviti-zrostaє.html>.
2. Синтез мови. Wikipedia. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B7_%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D0%B8
3. Dutoit T. An Introduction to Text-to-Speech Synthesis / T. Dutoit // Springer. — 2001. — С. 14.
4. Development of Tactile Feedback Devices. Portable 4x4 shape display. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.iit.it/en/advr-labs/haptic-and-interaction-technologies/1631-development-of-tactile-feedback-devices.html>.
5. Wagner Christopher R. Design and performance of a tactile shape display using RC servomotors / Christopher R. Wagner, S. J. Lederman, Robert D. Howe // Div. of Eng. & Appl. Sci. — Cambridge, USA : Harvard Univ, 2003.
6. Закон повного струму. Вихровий характер магнітного поля. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.bog5.in.ua/lecture/magnetism_lect/lect2_magn_ukr.html
7. The BraillePens on the Move. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.braillepen.com/mobile-solutions.html>.
8. Seung-Chan Kim. SaLT: Small and Lightweight Tactile Display using Ultrasonic Actuators / Seung-Chan Kim, Chong Hui Kim, Tae-Hon Yang, Gi-Hun Yang, Sung-Chul Kang, Dong-Soo Kwon // 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 2008.
9. Hamada K. Brain-computer Interface Using Airborne Ultrasound Tactile Display [Master Thesis] / K. Hamada // The University of Tokyo. — Tokyo, Japan, 2014.
10. Paschew G. Multimodal, High-Resolution Imaging System Based on Stimuli-Responsive Polymers / G. Paschew, R. Körbitz, A. Richter. // Advances in Science and Technology. — Vol. 82. — Sep. 2012.
11. Kajimoto Hiroyuki. Electro-Tactile Display with Force Feedback / Hiroyuki Kajimoto, Naoki Kawakami, Taro Maeda, Susumu Tachi // Graduate School of Information Science and Technology. — Tokyo : The University of Tokyo, 2004.

ANALYSIS OF WORKING PRINCIPLES OF TACTILE OUTPUT DEVICES

D. P. Lozovyi, I. R. Kilko, T. I. Onyschenko

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pidholosko St., Lviv, 79020, Ukraine*

In order to consider the prospects of solving the problems of information providing to people with low vision the article represents information review and analysis of existing devices for tactile information transmission and describes the structure of the devices. Key education issues for people with low vision have been reviewed, the developments of tactile information transmission have been analyzed, their classification based on their working principles has been created, their major advantages and disadvantages of each principle have been shown, the working algorithm has been described and a search for additional areas of application has been conducted. The article assumes the trends of devices development for tactile information transmission in the near future.

Keywords: *tactile displays, speech synthesis, information transmission, ultrasound, hydrogel, electroskin stimulation.*

Стаття надійшла до редакції 28.09.2015.