

УДК 004.51:612.881

ПРО ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ТАКТИЛЬНУ В СИСТЕМАХ ЗАМІЩЕННЯ ЗОРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

кандидат технічних наук, доцент, Жданова О.Г.,

кандидат технічних наук, Сперкач М.О., Кальницький Р.І.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна, Київ

Розглянуто підходи до заміщення зорової інформації для людей із вадами зору. Обґрунтовано вибір перетворення зорової інформації у тактильну. Запропоновано структуру пристрою тактильно-зорового заміщення, який передає користувачу інформацію про нерівності поверхні. Розроблено загальний принцип перетворення інформації про наявність та вигляд перешкод. Визначено основні параметри дисплею (пристрою перетворення зорової інформації в тактильну); розроблено спосіб кодування інформації про зміну форми поверхні перед користувачем та набір основних шаблонів. Продемонстровано можливість використання розробленого підходу для інших потреб на прикладі передачі текстової інформації шрифтом Брайля.

Ключові слова: орієнтація, система сенсорного заміщення, вібротактильний дисплей, тактильна інформація, патерни кодування.

кандидат технических наук, доцент, Жданова О.Г., кандидат технических наук, Сперкач М.О., Кальницкий Р.И. О преобразовании пространственной информации в тактильную в системах замещения зрительной информации / Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Украина, Киев

Рассмотрены подходы к замещению зрительной информации для людей с нарушениями зрения. Обоснован выбор преобразования зрительной информации в тактильную. Предложена структура устройства тактильно-зрительного замещения, которое передает пользователю информацию о неровности поверхности. Разработан общий принцип преобразования информации о наличии и виде препятствий. Определены основные параметры дисплея (устройства преобразования зрительной информации в тактильную) разработан способ кодирования информации об изменении формы поверхности перед пользователем и набор основных шаблонов. Продемонстрирована возможность использования разработанного подхода для других нужд на примере передачи текстовой информации шрифтом Брайля.

Ключевые слова: ориентация, система сенсорного замещения, вибротактильный дисплей, тактильная информация, паттерны кодирования.

PhD in Engineering, associate professor, O. Zhdanova, PhD in Engineering, M. Sperkach, R. Kalnytskyi About spatial to tactile conversion in visual substitution systems. National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine, Kyiv

Approaches to the visual information substitution for people with visual impairments are considered. The choice of converting visual information into tactile is substantiated. The structure of the tactile to visual substitution device, which transmits to the user information about surface unevenness, is proposed. The general principle for transforming information about presence and appearance of the obstacles has been developed. The basic parameters of the display (the device for transforming visual information into tactile sense) are determined, a method for encoding information about the surface in front of user changes and the set of basic templates are developed. Demonstrated the possibility of using the developed approach for other needs by the example of transmission of textual information using Braille.

Keywords: mobility, sensory substitution system, vibrotactile display, tactile information, encoding patterns.

Вступ. Більшість людей сприймає отримання та усвідомлення інформації як буденний та звичайний процес, при цьому навіть не задумуючись про механізм та природу того чи іншого чуття. Насправді мозок замкнений у повній тиші та непроглядній темряві [1, с. 153]. Він намагається певним чином адаптувати інформацію, що надходить до нього від рецепторів, поєднати її, відкоригувати та побудувати загальну картину всього того, що відбувається навколо. При цьому зір посідає домінуюче місце у всьому цьому процесі – близько 90% інформації про світ базується на ньому. На жаль, близько 285 мільйонів людей (на 2014 рік) мають вади зору, серед них 39 мільйонів – повністю незрячі [2]. Незважаючи на свій недуг, ці люди бажають повноцінно самостійно пересуватись вулицями та приміщеннями. Допомагають їм у цьому добре відомі способи: паличка та собака-поводир. Ці методи орієнтування в просторі дозволяють вирішувати дещо різні задачі, але все ж не задовольняють усього спектру потреб. Люди із вадами зору (ЛВЗ) щодня стикаються із проблемами орієнтування в просторі, пересування та можливості взаємодіяти із об'єктами інтер'єру та екстер'єру будівель. Саме тому питання створення спеціальних засобів для вирішення даних проблем є актуальними. При цьому застосуванням інформаційних технологій дозволить підвищити ефективність таких засобів, тобто забезпечити можливість такого

роду пристроїв швидко та точно збирати, аналізувати, передавати інформацію користувачу та можливість сприймати її людиною в обсязі та зі швидкістю, достатніми для зручного її використання.

1. Аналіз проблемної ситуації. Орієнтація (можливість людини визначити своє положення відносно інших об'єктів у просторі) та мобільність (можливість безпечно пересуватися у навколишньому середовищі) – дві ключові потреби ЛВЗ у контексті їх захворювання. Їх реалізація викликає значні труднощі для ЛВЗ [3].

Люди, які отримали значні порушення зору не втрачають можливість бачити. Зазвичай вони втрачають лише периферійні сенсори чи шляхи передачі до головного мозку, а не «механізм» в цілому. Тому залишається можливість використовувати ті ж ділянки кори для аналізу інформації, але вже від інших сенсорів, які подразнюються системами сенсорного заміщення (ССЗ), такі як слух або дотик [4, с. 541-542].

У звичайній зоровій системі дані, зібрані сітківкою, перетворюються у електричний імпульс, який подається на зоровий нерв, і ретранслюється в головний мозок, який відтворює зображення і сприймає його. ССЗ базуються на заміні ушкоджених елементів і продовженні використання існуючих областей головного мозку у процесі сприйняття. За допомогою сенсорного заміщення інформація, отримана від однієї сенсорної системи, може досягати структур мозку, які фізіологічно пов'язані із іншими.

При відсутності зору найдоцільніше використовувати одну із інших працюючих сенсорних систем. Так, наприклад, подразнюючи певним чином механорецептори шкіри, можна передавати в мозок візуальну картинку навколишнього середовища чи за допомогою різних звукових частот описати форму предмета.

Зазвичай людина отримує інформацію із пристроїв за допомогою різного роду дисплеїв, починаючи від миготливого світлодіода на лічильнику спожитої електроенергії, закінчуючи IPS дисплеями мобільних телефонів. Тлумачні словники описують термін “дисплей” як пристрій для передачі візуальної інформації. Враховуючи те, що ССЗ замінюють ушкоджений елемент сенсорної системи на інший, використання даного терміну можна поширити на значно ширше коло: дисплей може бути тактильним, тобто за допомогою механічного подразнення передавати візуальну інформацію, чи звуковим.

Зорова сенсорна система побудована на обробці двовимірного масиву сенсорів, що активно сканують навколишнє середовище. Акустичні сигнали активують одновимірний масив кохлеарних рецепторів. Даний факт означає потенційні когнітивні проблеми та складність у навчанні пацієнтів у використанні аудіо-візуальних ССЗ (АВССЗ). Не зважаючи на потенційну роздільну здатність звукового сигналу, зазвичай таким чином вдається кодувати картинку невеликих

розмірів (десь близько 60 на 60 пікселів) [5, с. 131-168]. Також використання АВССЗ є не раціональним, оскільки зазвичай потребує носіння двох навушників, що робить пересування вулицею небезпечним для користувача, лише одного – унеможлиблює використання стерео-звуку, відкритих динаміків – великий спектр частот буде зашумлений навколишнім середовищем, через що інформативність сигналу падатиме.

На противагу слуху, людина має ділянки достатньо чутливої вільної поверхні тіла, яка може сприймати достатньо велику кількість тактильної інформації, при цьому не заважаючи користувачу виконувати інші звичні операції. Також тактильне відчуття теж використовує двовимірний масив рецепторів [6, с. 1581], що і дозволяє використовувати існуючі природні механізми в заміщенні зору.

Додатково до цього тактильно-зорові ССЗ (ТЗССЗ) мають такі переваги [5, с. 160-168]: можливість ефективного використання рецепторів іншої сенсорної системи; достатня швидкість та чіткість передачі інформації; подібність низькорівневих принципів обробки інформації здорової сенсорної системи та ушкодженої; наявність “мостів” між здоровою системою та пошкодженою.

Більшість існуючих ТЗССЗ перетворюють візуальну інформацію на тактильну, кодуєчи яскравість образів у вібрацію. Сама ідея передачі візуальної інформації за рахунок масиву віброелементів відома ще із 20-их років ХХ століття, але перша спроба реалізації даної ідеї була здійснена лише у 1963 році Штарквіцем [7, с. 157] і у 1969 Бак-і-Ріта [8, с. 963-964], який і став батьком поняття «сенсорне заміщення». Під час активної передачі інформації на тактильні рецептори важливу роль у чіткості та якості сприйняття відіграє розширення масиву атракторів (віброелементів), що значно менше в порівнянні з оком. Через це на даному етапі розвитку ТЗССЗ неможливо передати таку ж кількість інформації за допомогою системи, яку людина може сприймати оком.

Основні концепції побудови тактильних дисплеїв наступні: використання масиву із електротактильних елементів; використання масиву із соленоїдів; створення тиску в певних областях шкіри за допомогою сервомоторів; використання масиву із віброелементів.

Професор Бак-і-Ріта показав суттєвий результат у своїй роботі [4, с. 541-546], застосовуючи електротактильний дисплей для передачі інформації на поверхню язика. Даний спосіб відкриває широкі можливості для достатньо чіткого розпізнання предметів, що розташовані на малій відстані від користувача, або є досить великими. Для орієнтування у просторі даний спосіб поки не підходить.

Перевагою використання масиву із соленоїдів для формування реального відчуття дотику є реальне відчуття натиску, а не його імітація. Користуючись даним методом, компанією Метек розроблено спеціальний модульний дисплей для передачі символів шрифтом Брайля. Явним та вагомим недоліком є висока робоча напруга соленоїдів (близько 200V), яке може бути небезпечним при персональному використанні під час пересування вулицею.

Використання сервомоторів у процесі передачі інформації робить тактильний дисплей громіздким (з огляду на розміри та способи сполучення елементів), тому обмежує спосіб використання та зменшує можливу кількість інформації, що може бути передана за одиницю часу.

У роботі Лі [9, с. 1229-1232] описано успішний спосіб передачі інформації розумним годинником за допомогою манжети із масиву віброелементів.

З огляду на вищенаведене у якості дисплею для передачі інформації авторами вирішено обрати масив із віброелементів. Вони є безпечними у використанні, потребують невелику кількість електроенергії для своєї роботи, є портативними та можуть достатньо ефективно імітувати відчуття натиску на шкіру.

2. Мета та завдання. Метою даного дослідження є спрощення пересування та орієнтації в просторі людей із вадами зору за рахунок застосування систем тактильно-зорового заміщення, які передають користувачеві інформацію про нерівності поверхні.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розробити загальний принцип перетворення в тактильну зорової інформації про наявність перешкод та їх вигляд;
- розробити спосіб передачі перетвореної (закодованої) інформації;
- визначити основні параметри дисплею (пристрою перетворення зорової інформації в тактильну);
- дослідити можливість адаптації людини до використання розробленого дисплею.

3. Перетворення просторової інформації в тактильну. Пристрій, що перетворює просторову інформацію в тактильну, складається із наступних компонентів: сенсори (далекомір, акселерометр, гіроскоп та магнетометр); компонент обробки інформації (КОІ); тактильний дисплей.

Принцип використання даного пристрою подібний до використання тростини чи дослідження поверхні рукою. Усі сенсори знаходяться на тильній стороні долоні користувача, що дозволяє отримувати відстань до поверхні перед користувачем під час руху рукою із боку в бік, прискорення руки, її нахилу та напрямку. КОІ агрегує дані із сенсорів та у розрізі часу приймає рішення про зміну

форми поверхні перед користувачем — появу ями чи виступу. Отримане рішення кодується у певний сигнал. Дисплей отримує сигнали від КОІ та перетворює їх у вібротактильні відчуття.

Розглянемо можливі атомарні події, що можуть трапитись під час пересування і які необхідно буде кодувати:

- 1) при русі Пристроєм справа наліво з'являється підвищення;
- 2) при русі Пристроєм справа наліво з'являється заглиблення;
- 3) при русі Пристроєм справа наліво з'являється похилий спуск;
- 4) при русі Пристроєм справа наліво з'являється похилий підйом;
- 5) при нерухомому Пристрою відстань до поверхні зменшується;
- 6) при нерухомому Пристрою відстань до поверхні збільшується.

Усі інші ситуації можуть бути представленими за допомогою комбінації або простих перетворень цих подій. Однією з проблем кодування подій є час адаптації, який буде необхідний користувачу при використанні Пристрою. Через це кодована інформація повинна бути якомога інтуїтивною. Оскільки ми використовуємо тактильні рецептори, які можуть імітувати натиск на шкіру за рахунок вібрації, можна скористатись цим та імітувати натиск поверхні на шкіру користувача, начебто він проводить нею по поверхні, що досліджується. Згідно результатів роботи Новіча та Іглмана [10], використання вібротактильних сигналів, які змінюються в часі, значно збільшує імовірність правильного декодування їх користувачем. Отже, при кодуванні атомарних подій слід використовувати послідовність із комбінацій станів віброелементів, що змінюється у часі (далі – *патернів*).

Від форм-фактору дисплею залежить роздільна здатність інформації, яку може сприйняти користувач за момент часу. Він повинен бути якомога більш компактним, щоб не сковувати рухи та давати можливість використовувати його на різноманітних ділянках шкіри.

Базуючись на результатах робіт [9, с. 1231-1232, 10], в яких обґрунтовано перевагу в використанні динамічних сигналів та більш активне використання крайніх рядів віброелементів перед центральними та поодинокими елементами під час передачі інформації, обрано мінімально допустимий розмір дисплею в 3x3 елементи.

Під роздільною здатністю дисплею розуміється кількість станів, які може кодувати кожен віброелемент. Назвемо мінімальний рівень вібрації, що здатна відчувати людина, мінімальною вібрацією, а максимально комфортний рівень — максимальною вібрацією. Рівень вібрації, що знаходиться посередині між мінімальною та максимальною вібрацією, назвемо середньою вібрацією. З огляду на це, кожен піксель може перебувати у трьох станах: максимальної вібрації, середньої вібрації та спокою. Задля забезпечення плавних

переходів, піксель повинен мати змогу поступового переходу між кожним з цих станів. Ілюстрація даних станів зображена на рис. 1, де корпус дисплею зображено зовнішнім квадратом, пікселі – кругами із білою, сірою, чорною заливкою та градієнтом, що відповідає їхнім станам.

Для простоти надалі множину станів усіх пікселів на дисплеї в певний момент часу називатимемо *кадром*.

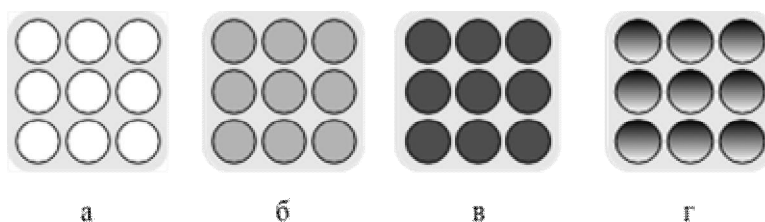


Рис. 1. Вигляд дисплею та його пікселів: а – у стані спокою; б – у стані середньої вібрації; в – у стані максимальної вібрації; г – у перехідному стані

Опишемо патерни кодування даних. У кожен момент часу кадр повинен відображати не тільки наявність зміни відстані до поверхні, а ще й включати інформацію про напрямок руху Пристрою. Один з таких процесів схематично зображено на рис. 2. При відсутності зміни висоти дисплей знаходився у стані спокою (рис. 2 кадр а). При виявленні Пристроєм виступу під час руху ним – у протилежному напрямку відносно руху, почала поширюватись хвиля вібрації на дисплеї, яка із певним часом після повного його заповнення, поступово рівномірно затухатиме, показуючи перехід на новий рівень висоти та перехід дисплею у стан спокою.

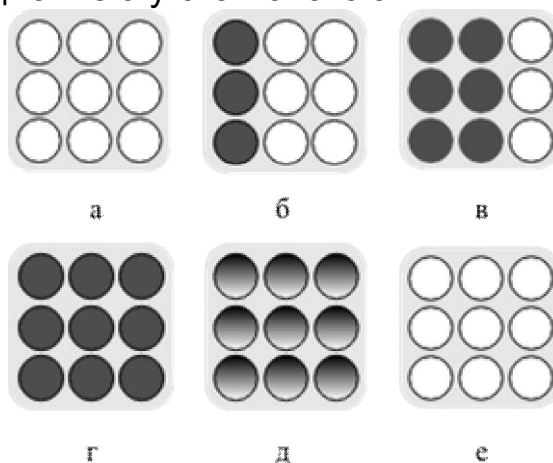


Рис. 2. Зображення кадрів під час виявлення виступу при русі Пристроєм справа наліво: а – стан спокою; б – виявлено виступ, початок поширення хвилі; в – продовження поширення хвилі; г – повне заповнення екрану; д – перехідний процес переходу до стану спокою; е – стан спокою

Враховуючи те, що стану спокою відповідає відсутність вібрації, то процес повідомлення про наявність зниження рівня поверхні є складнішим. Відповідний патерн наведено на рис. 3.

Даний патерн потребує більше часу для передачі інформації. Як бачимо, сигнал від Пристрою про появу ями був отриманий перед кадром а, але при цьому повну інформацію користувач починає отримувати лише починаючи з кадру г.

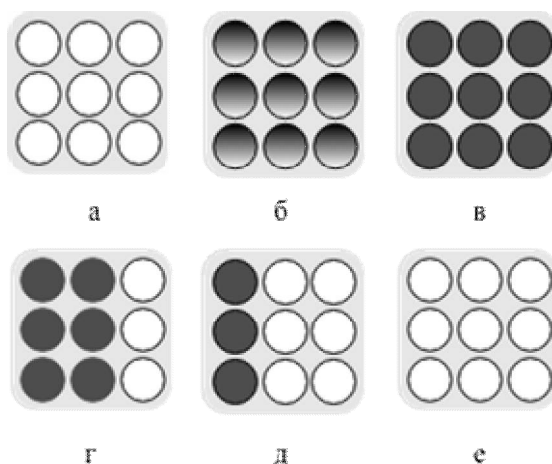


Рис. 3. Зображення кадрів під час руху Пристроєм зліва направо із виявленням заглиблення: а – стан спокою; б – перехідний режим у стан максимальної вібрації; в – стан максимальної вібрації; г – відображення краю заглиблення; д – перехід на новий рівень висот; е – стан спокою – новий рівень висот

Розглянемо випадки ідентифікації спусків та підйомів. Їх патерни використовуватимуть відповідно патерни заглиблення (рис. 3) та виступу (рис. 2), але із певними відмінностями. При спуску перехідний стан на кадрі д рис 3 затримається на середній вібрації і буде продовжуватись до тих пір, поки не завершиться спуск. При підйомі — на кадрі б рис. 2, поки не завершиться підйом.

У ситуації при нерухомому Пристрої та збільшенні відстані до поверхні використовуватиметься патерн, зображений на рис. 4.

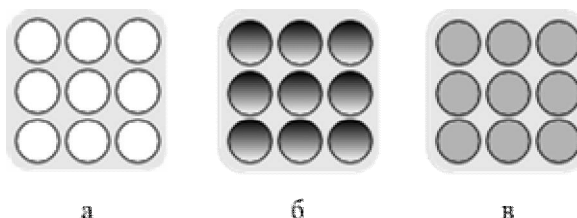


Рис. 4. Зображення кадрів під час збільшення відстані до поверхні при нерухомому Пристрої: а – стан спокою; б – перехідний стан; в – середній стан

Середній стан (кадр в рис. 4) триватиме до тих пір, поки відстань збільшуватиметься. Аналогічно виглядатиме зменшення відстані, але

при цьому замість останнього кадру (кадр в рис 4) використовуватиметься кадр максимальної вібрації.

При компонуванні патернів варто додавати між ними кадр перехідного стану задля більш гладкого переходу.

Варто зауважити, що сфера застосування даного дисплею не обмежується відображенням інформації про рівень поверхні. У такий спосіб можна також передавати текст, що базується на шрифті Брайля (рис. 5).

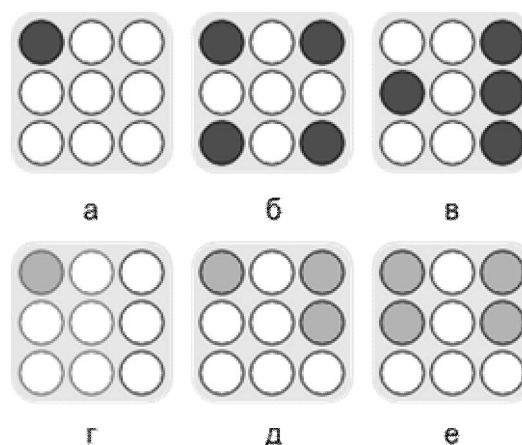


Рис. 5. Приклад використання дисплею для відображення літер шрифту Брайля: а – літера “А”; б – літера “Щ”; в – літера “В”; г – цифра “1”; д – цифра “4”; е – цифра “7”

За рахунок використання стану середньої вібрації кодуються числа, які зазвичай потребують додаткового символу перед собою, який би відображав використання математичної нотації.

4. Результати застосування розробленого пристрою.

Запропонований підхід до перетворення зорової інформації в тактильну був використаний при виготовленні прототипу Пристрою (емулятора).

У дослідження ефективності описаного підходу брала група людей без вад зору. У якості Пристрою було використано емулятор, щоб зменшити вплив неточностей роботи сенсорів та недоліків поточної реалізації КОІ. Перед проведенням експериментів було описано загальні принципи роботи дисплею та продемонстровано декілька разів усі патерни та перші 10 літер шрифтом Брайля. Кожен учасник проходив експерименти після вільного володіння візуальними представленнями усіх патернів. Випробування проводились щодня протягом тижня. Кожне випробування містило всі патерни у 10-ох екземплярах, які відтворювались у випадковій послідовності окремими сесіями. Зміна частки розпізнаних просторових патернів та літер за днями наведена на рис. 6.

Як видно із рис. 6 навіть у перший день використання тестовою групою частка правильних відповідей по всім патернам не була нижча ніж 0.7, що є достатньо непоганим результатом. На шостий день було проведено додаткову сесію випробувань для форм дисплею 2x2 та 5x5. Дана сесія продемонструвала незначні відхилення (до 10%) результатів від тих, що отримані для розміру 3x3. Більш цінним результатом є суб'єктивна оцінка учасників — усі підтвердили, що при використанні меншого дисплею їм потрібно було приділяти додаткову увагу та сильно концентруватись для сприйняття інформації. Використання більшого дисплею суттєво не підвищило комфортність роботи з пристроєм.

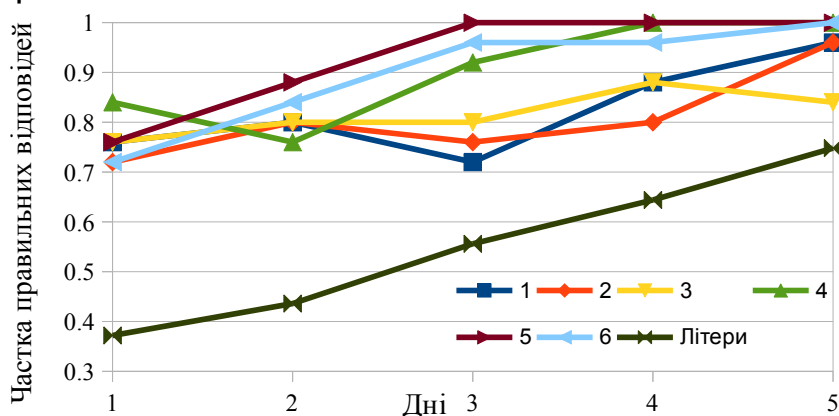


Рис 6. Частка правильно розпізнаних патернів усіма учасниками на протязі п'яти днів

Висновки. Експериментальні дослідження довели вдалість розробленого способу кодування інформації та патерни її передачі. Поєднання руху та відповідний “рисунок” на дисплеї досить вдало описує зміну вигляду поверхні, що допомагає мозку досить чітко обробляти дану інформацію. Експерименти зі зміни розміру дисплею показали, що розмір 3x3 є мінімально допустимим і водночас достатньо ефективним. З огляду на результати точності передачі літер, даний дисплей можна використовувати для інтеграції із пристроями, що мають текстовий інтерфейс.

Література:

1. *Can we create new senses for humans? [Електронний ресурс] / D. Eagleman. — New York, 2015. — Режим доступу: <http://www.eagleman.com/blog/eaglemanted2015>.*
2. *Visual impairment and blindness [Електронний ресурс] / WHO Media centre. — Geneva, 2014. — Режим доступу: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/>*

3. *Orientation and Mobility [Електронний ресурс] / California Department of Social Services. — Sacramento, 2015. Режим доступу: <http://www.cdss.ca.gov/cdssweb/entres/pdf/BlindHandbook/Orientation-Mobility.pdf>*
4. *Bach-y-Rita P. Sensory substitution and the human-machine interface / P. Bach-y-Rita, S.W. Kercel // TRENDS in Cognitive Sciences. — 2003. — N.12(7) — P. 541-546.*
5. *Hurley S. Neural plasticity and consciousness / S. Hurley, A. Noë // IBiology and Philosophy. — 2011. — P. 131–168.*
6. *Geldard F.A. Some neglected possibilities of communication / F.A. Geldard // Science. — 1960. - P. 1581.*
7. *Starkiewicz W. The 80-channel elektroftalm / W. Starkiewicz, T. Kuliszewski // The 80-channel elektroftalm. Proc. Intern. Congr. Texhno and Blindness. — New York, 1963. — Vol 1— P. 157.*
8. *Bach-y-Rita P. Vision substitution by Tactile Image Projection / P. Bach-y-Rita, C.C. Collins, F.A. Saunders, B. White, L. Scadden // Nature. 1969. — V. 221. — P. 963-964.*
9. *Lee J. Investigating the Information Transfer Efficiency of a 3x3 Watch-back Tactile Display / J. Lee, J. Han, G. Lee // CHI. — Seul, 2015. — P. 1229-1232.*
10. *Novich S. Using space and time to encode vibrotactile information: toward an estimate of the skin's achievable throughput / S. Novich, D. Eagleman // Experimental Brain Research. — 2015.*

References:

1. *Eagleman, D. (2015). Can we create new senses for humans? Retrived from <http://www.eagleman.com/blog/eaglemanted2015>.*
2. *Visual impairment and blindness. (2014). Retrived from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/>*
3. *Orientation and Mobility. (2015). Retrived from <http://www.cdss.ca.gov/cdssweb/entres/pdf/BlindHandbook/Orientation-Mobility.pdf>*
4. *Bach-y-Rita, P., & Kercel, S. W. (2003). Sensory substitution and the human-machine interface. TRENDS in Cognitive Sciences, N.12(7), 541-546.*
5. *Hurley, S., & Noë, A. (2011). Neural plasticity and consciousness. IBiology and Philosophy, 131–168.*
6. *Geldard, F.A. (1960). Some neglected possibilities of communication. Science, 1581.*
7. *Starkiewicz, W., & Kuliszewski, W. (1963). The 80-channel elektroftalm. Proc. Intern. Congr. Texhno and Blindness, 1, 157.*
8. *Bach-y-Rita, P., Collins, C.C., Saunders, F.A., White, B., Scadden, L. (1969). Vision substitution by Tactile Image Projection. Nature, V. 221, 963-964.*

9. Lee, J., Han, J., & Lee, G. (2015). *Investigating the Information Transfer Efficiency of a 3x3 Watch-back Tactile Display*. 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, Seoul.
10. Novich, S., Eagleman, D. (2015). *Using space and time to encode vibrotactile information: toward an estimate of the skin's achievable throughput*. *Experimental Brain Research*.