

УДК 621.3.038

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/05>**Хаченко О.В.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Лисенко О.М.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОДИФІКОВАНА КЛАСИФІКАЦІЯ ТИФЛОТЕХНІЧНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ АРХІТЕКТУРИ РОЗРОБЛЮВАНОВОГО НАВІГАЦІЙНОГО РІШЕННЯ

Проаналізовано останні дослідження та публікації щодо функціональних можливостей сучасних тифлотехнічних навігаційних систем для сліпих та слабозорих, реалізованих, зокрема, на основі GPS, інерціальних систем навігації, різноманітних Wi-Fi/Bluetooth радіомаяків, тег-міток у вигляді спеціальних кольорових картинок, технологій штучного інтелекту і технічного зору з використанням тактильних, вібраційних, звукових та інших способів взаємодії користувача з вадами зору з тифлотехнічною системою, а також специфічних пристроїв синтетичного зору з візуальними відчуттями та використанням нейронної пластичності людського мозку.

Встановлено, що протягом останнього часу на ринку спостерігається безпрецедентне зростання кількості різноманітних нових тифлотехнічних навігаційних інструментів компенсації відсутніх у незрячих та слабозорих користувачів сенсорних даних для досягнення пункту призначення, що потребує подальшого їх упорядкування та систематизації.

Розглянуто, модифіковано та розширено із врахуванням новостворених технічних рішень класифікацію тифлотехнічних навігаційних систем відповідно до трьох основних функціональних критеріїв: способу взаємодії користувача з навігаційною системою (людино-машинного інтерфейсу або інтерфейсу користувача), виду системи позиціонування та способу моніторингу оточуючого середовища.

На основі модифікованої та доповненої класифікації обґрунтовано вибір архітектури для розроблення власного тифлотехнічного навігаційного рішення на основі смартфона та програмного SPA додатку.

Обґрунтовано вибір для використання у веб застосунку фреймворку OpenCV.js, доступного та апробованого багатьма фахівцями у галузі комп'ютерного зору і який є "open source" проектом з великою аудиторією людей, що його розвивають, удосконалюють і вишукують помилки.

Ключові слова: тифлотехніка, навігація для сліпих та слабозорих, класифікація, система позиціонування, моніторинг оточуючого середовища, інтерфейс користувача, смартфон, SPA додаток.

Постановка проблеми. Відомо, що на сьогодні у світі понад 217 мільйонів людей мають проблеми із зоровою системою, із них 36 мільйонів людей є сліпими [1]. Цей стан сильно впливає на самопочуття і поведінку людини та якість її життя навіть у простих повсякденних справах. Це спонукало до пошуку нових технічних рішень, які могли б компенсувати відсутні у незрячих та слабозорих сенсорні дані та стало причиною появи великої кількості різноманітної тифлотехніки, однією з основних функцій якої є створення для людини з вадами зору можливостей отримання інформації про світ, у якому вона живе, адаптації до навколишнього середовища та для самостійного життя в суспільстві.

При цьому однією із найбільших проблем для інвалідів по зору є труднощі їх самостійного пере-

сування поза межами свого житла для досягнення пункту призначення на маршрутах у приміщенні та на відкритому повітрі, в тому числі з використанням громадського транспорту. Для надання користувачам з вадами зору необхідних та корисних даних, щоб допомогти їм дістатися до пункту призначення, відстежуючи їхнє положення, актуальним і важливим стало створення тифлотехнічних навігаційних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перші проекти в зазначеному вище напрямку були зосереджені на забезпеченні підтримки знаходження та уникнення перешкод і стали основою для розроблення численних пристроїв з мінімальними вагою, споживанням, вартістю, високою надійністю тощо. Прикладами таких рішень

є пристрої на основі сонара Bat K Cane [2], вбудована тростина UltraCane [3] та портативний пристрій MiniGuide [4].

Проте когнітивне навантаження обмежувало обсяг даних, яку користувач з вадами зору міг би ефективно засвоїти. Саме це змусило дослідників створювати навігаційні системи, що включають в себе комп'ютерно-модельовані карти навколишнього середовища і потребували кількох вбудованих датчиків та зовнішніх орієнтирів для відстеження положення користувачів. Прикладами використання одометрії є GuideCane Мічиганського університету [5] та NavBelt [6].

Одним із технічних досягнень, які зробили найбільший вплив на такі навігаційні рішення, була поява глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS) і, зокрема, глобальної системи позиціонування (GPS). Її використання потребувало проведення значної кількості обчислень, що суттєво ускладнило виготовлення компактних мобільних навігаційних пристроїв. Однак, на сьогоднішній день майже всі користувачі з вадами зору мають смартфони з достатніми обчислювальними потужностями, що дозволяє вирішити вказану вище проблему.

Тим не менш, оскільки навігаційні системи продовжували свій розвиток, а обсяг інформації, зібраної для сліпої навігації, зростав, потреба в ефективних інтерфейсах користувача стала ще більш очевидною. Кілька класичних технічних рішень передбачали також мовлення, починаючи із записаних повідомлень; пізніше також поступово були включені синтез та розпізнавання мови. На цьому етапі сенсорна заміна стала привабливим рішенням для інтерфейсів користувача навігаційної системи для сліпих, особливо коли йому потрібно було швидко отримати детальну інформацію про його найближче оточення, зберігаючи при цьому низьке когнітивне навантаження. Найкращим прикладом цього рішення є Google Maps [7] з його голосовим супроводом.

Також великого розвитку дала поява комп'ютерного зору, яка дозволила за допомогою камери надавати користувачам з вадами зору дієві підказки. Такі пристрої можуть знаходити певні картинки, пейзажі, рухомі об'єкти з їх ідентифікацією і надавати по ним рекомендації та коментарі, так як це зроблено в NaviLens[8]. Ще цікавим прикладом є передача сприйняття глибини простору через тактильні відчуття. Такі прилади, зазвичай, використовують пару камер для захоплення 3D-середовища та представлення його користувачеві з вадами зору у вигляді тактильних подразни-

ків у його пальцях чи вібрації на тілі, так як це зроблено в Navi [9] чи Virtual Haptic Radar [10].

Якщо йдеться про знаходження певних реперних точок при пошуці певних картинок чи об'єктів середовища, то слід згадати про популярність Bluetooth, Wi-Fi та радіомаяки. Коли користувач з вадами зору знаходиться достатньо близько від радіомаяка, прилад бачить його поблизу, розуміючи при цьому місцезнаходження користувача і надає йому певні підказки про оточуюче середовище. Наприклад, технологія WayFindr [11] використовує навігацію за допомогою Bluetooth маяків.

Деякими розробниками створено більш незвичні пристрої, які навчають користувача з вадами зору візуалізувати певний звук, щоб у нього з'явилося розуміння в залежності від параметрів звуку про розмір об'єкта та відстань, на якій він знаходиться, так як це зроблено в vOICe[12].

Зазначена вище многогранність підходів та технічних рішень їх реалізації викликало потребу в їх систематизації, упорядкуванні та узагальненні шляхом проведення класифікації для подальшої ґрунтовної роботи з ними.

Спроба класифікувати наявні тифлотехнічні рішення станом на 2017 рік представлена в роботі [13], де автор розподіляє їх на засоби оптичної корекції, навчальні тифлотехнічні засоби, засоби пересування, засоби культурно-побутового і господарського призначення та засоби інформаційного забезпечення. Однак, ця класифікація є занадто широкою, вона не враховує особливості саме навігаційних рішень для користувачів з вадами зору, а з появою та впровадженням в останні роки в тифлотехніку новітніх технологій вже не є повною.

Один із останніх варіантів класифікації тифлотехнічних навігаційних рішень наведено в роботі [14], де авторами зроблено спробу надати цілісне уявлення про навігаційні системи для інвалідів по зору та класифікувати їх за трьома складовими функціональних можливостей, а саме: способам позиціонування, моніторингу навколишнього середовища та інтерфейсу користувача (рис. 1). Розглянуто доцільність використання класичного та нового дизайну архітектури навігаційних систем, запропоновано нову потенційну архітектуру їх побудови, функціональні вимоги та доцільність якої розглянуто виходячи із минулого досвіду, наявних технологій та потреб і обмежень користувачів з вадами зору.

Однак, наведений варіант потребує модифікації і доповнення через появу на ринку протягом останніх кількох років великої кількості нових

тифлотехнічних навігаційних інструментів компенсації відсутніх у незрячих та слабозорих користувачів сенсорних даних для досягнення пункту призначення.

Постановка завдання. З огляду на безпрецедентне зростання на ринку числа різноманітних нових тифлотехнічних навігаційних рішень актуальним і важливим є вирішення завдання їх подальшого упорядкування, систематизації та розширення класифікації тифлотехнічних навігаційних систем відповідно до трьох основних функціональних критеріїв: інтерфейсу користувача, виду системи позиціонування та способу моніторингу оточуючого середовища, а також обґрунтування вибору архітектури для розроблення власного тифлотехнічного навігаційного рішення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Зазначена вище класифікація потребує, насамперед, розширення, оскільки потрібно врахувати, що обладнання може бути як зовнішнім, так і портативним. Щодо зовнішнього – це може бути акустичне обладнання у вигляді колонок або п’єзодинаміків, яке використовується у метро, на спеціальних світлофорах тощо. Цікавою є робота [15], де авторами було розроблено засоби навігації для інвалідів по зору, які здійснювали озвучення об’єктів інфраструктури шляхом використання Wi-Fi-маяків з активним каналом радіозв’язку і оснащених гучномовцями. Реалізовано також можливість проведення сканування довкілля на наявність активних найближчих маяків. При наближенні до одного з них на відстань (50 – 70) м генерується звуковий або вібросигнал, який інформує користувача про можливість керування маяком, наприклад, шляхом включення звукового сигналу на ньому.

Щодо портативних технічних рішень, то серед них також є акустичні, які використовують мікро-

фон для голосових асистентів та голосових команд, як це використовує розумна тростина WeWalk [16], оснащена вбудованим динаміком і мікрофоном, який ідеально працює з голосовою системою Alexa від Amazon. І тому варто додати мікрофон як складову інтерфейсу користувача для взаємодії з додатком. Звісно, при цьому не слід забувати і про навушники, зазвичай, кісткової звукопровідності (кісткові вібратори), щоб користувач міг слухати підказки, залишаючи слуховий канал відкритим для звукового потоку із зовнішнього світу після включення кісткових навушників.

До речі, є дослідницька група Virtual Acoustic Space [17], яка працює над сприйняттям простору лише через звук. Він передбачає створення ілюзії, ніби об’єкти покриті невеликими джерелами звуку, які постійно випромінюються певним чином. Тим самим створюється віртуальний світ звуку, де фізичні тіла виробляють звуки з усіх координат своїх поверхонь.

Ще одним новим цікавим рішенням є використання технології звукового бачення vOICe [12], яка передає зображення з відеокамери на комп’ютер, де спеціальна програма перетворює картинку у звук. Після конвертації зображення в колірний режим у відтінках сірого спеціальна програма використовує різні характеристики звуку, відтворюючи візуальне панорамування, просуваючись зліва направо. Положення об’єкта визначається висотою звучання: чим вище позиція об’єкта на знімку, тим вищою є висота звуку. Яскравість об’єкта на знімку визначається гучністю звучання.

Теоретично це може призвести до синтетичного зору із справді візуальними відчуттями, використовуючи нейронну пластичність людського мозку шляхом навчання. Нейронаукові дослідження показали, що зорова кора навіть дорослих сліпих може реагувати на звук, а викликані

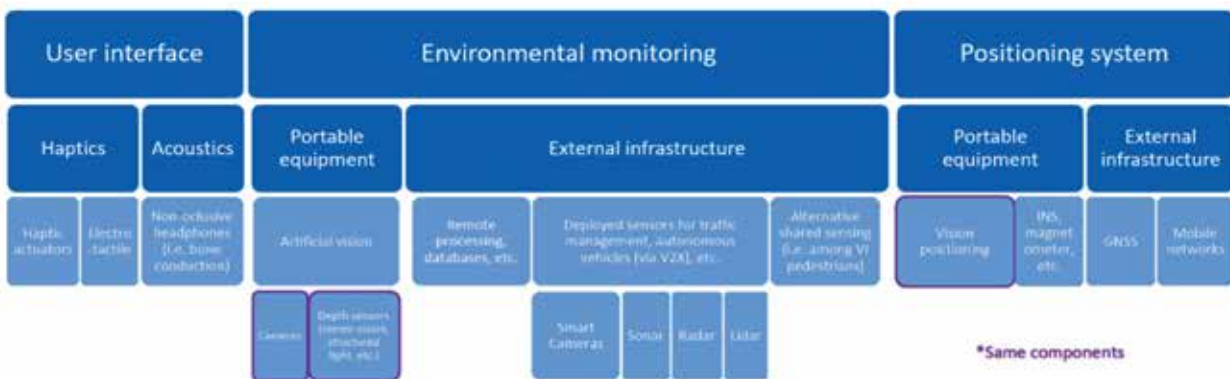


Рис. 1. Класифікація тифлотехнічних навігаційних пристроїв згідно роботи [14]

звуком ілюзорні спалахи можуть бути викликані у більшості зрячих людей. Крім функціональної значущості, викликання зорових відчуттів через звук (наприклад, штучна синестезія) може мати велике психологічне значення. Акустична складова з кістковими навушниками наявна в існуючій класифікації, хіба що варто змінити їх на навушники загалом, щоб покривати класифікацією більшу кількість аудіо-навігаційних пристроїв, оскільки не всі технічні рішення використовують саме кісткові вібратори.

Окрім акустичних, існують також пристрої, спрямовані на тактильні відчуття, які варто залишити в існуючій класифікації. Прикладом цього є тактильний дисплей Vlitab [18], який може сприяти застосуванню тактильних карт, але портативні альтернативи обмежені вібраційними інтерфейсами. Вказані пристрої жодним чином не використовують усі можливості дотику, що перешкоджає подальшим дослідженням у таких сферах як застосування розширеного дотику у контексті змішаної реальності.

Однак, останні наукові досягнення можуть сприяти розвитку універсального класичного рішення, відомого як «електротактильне, яке також присутнє в існуючій класифікації і його варто залишити. Наприклад, відомим є неінвазивний пристрій BrainPort [19], який підвищує функціональну незалежність сліпих людей. Пристрій надає незрячим користувачам більше інформації про навколишнє середовище, ніж звичайні допоміжні пристрої, завдяки електротактильному інтерфейсу язика, який створює тактильний стимул і був штучно індукований за допомогою поверхневих струмів у язиці, спрямованих на відповідні аферентні нерви кожної ділянки.

Іншим прикладом є система Forehead Retina System [20], що складається з невеликої камери та 512 електродів на лобі, яка фіксує зображення спереду, виділяє контури із зображення та перетворює контури на тактильні відчуття за допомогою електричної стимуляції. Щоб система стала компактною та довговічною, використовується електротактильний дисплей. Для запобігання неприємних відчуттів під час стимуляції було розроблено спеціальний гелевий шар. Система, насамперед, спрямована на те, щоб люди з вадами зору «бачили» навколишнє середовище.

Ще одним чудовим прикладом є система HamsaTouch [21], яка складається з електротактильного дисплея з 512 електродами, такою ж кількістю оптичних датчиків під кожним електродом, а також смартфона з камерою та РК-дисплеєм.

Смартфон отримує навколишнє зображення, виконує його обробку та виводить на РК-дисплей. Зображення фіксується оптичними датчиками та перетворюється на тактильне зображення за допомогою електротактильного дисплея. Хоча концепція подавлювача імпульсних стрибків напруги є класичною, але поєднання загальнодоступного мобільного пристрою та електротактильного дисплея дозволяє створити недорогу, але потужну та компактну систему.

До класифікації варто додати складову з пристроями, що використовують тачпад, як це втілено у “розумній” тростині WeWalk, яка відчуває рух і тиск пальців. Тачпад тут також використовується для керування підключеним додатком до смартфона.

Вібрація є теж важливою складовою, яку варто додати, адже вона має допоміжні властивості, наприклад, знову ж таки у WeWalk при виявленні перешкоди вібрують одразу дві кнопки. Чи як це використано в системі NAVI [9], яка використовує Microsoft Kinect і відстеження оптичних маркерів, щоб допомогти людям із вадами зору знайти дорогу всередині будівель, забезпечуючи постійний вібротактильний зворотний зв'язок на талії людини, створюючи враження про навколишнє середовище та попереджаючи про перешкоди. Також чудовим прикладом є радарная система Virtual Haptic Radar (VHR) [10], яка є прототипом віртуального тактильного радара, що допомагає акторам усвідомлювати присутність невидимих віртуальних об'єктів на їхньому шляху під час еволюції у віртуальній студії. VHR є природним розширенням тактильного радара (HR) і його принципу. В той час як кожен модуль HR мав невеликий вібратор і далекомір для вимірювання відстані до реальних перешкод, модуль VHR не має далекоміра, але натомість містить систему внутрішнього позиціонування на основі ультразвуку.

Прикладом використання для навігації одночасно кількох підсистем є робота [22] дослідників зі Стенфорда, які створили самостійну “розумну” тростину, що використовує датчик LIDAR для обчислення відстані до сусідніх об'єктів, а також містить додаткові датчики, подібні до тих, які є на смартфонах: GPS, акселерометри, магнітометри та гіроскопи, що контролюють положення, швидкість і напрямок користувача з вадами зору. Методи орієнтування на основі штучного інтелекту та методи робототехніки, такі як одночасна локалізація та відображення (SLAM) і Visual Servoing – спрямування користувача до об'єкта на зображенні – використовуються “розумною”

тростиною для прийняття рішень. Найцікавіше, це використання моторизованого все спрямованого колеса, яке підтримує контакт тростики із землею. При цьому воно обережно ніби штовхає та тягне користувача з вадами зору вліво або вправо навколо перешкод. З використанням вбудованого GPS і картографічних можливостей таке рішення може навіть направляти користувача до певних місць призначення.

В результаті аналізу розглянутих вище технічних рішень по функціональному критерію інтерфейс користувача отримаємо розширену класифікацію, наведену на рис. 2.

Зосереджуючись на допомозі на маршруті, навігаційна система потребує даних позиціонування, але її характеристики можуть відрізнитися залежно від запропонованого рішення. Наприклад, такі програми як Lazzus [23] ефективно вказують на розташування та характер географічних об'єктів, відмічених на карті (POI англ. point of interest, дослівно – “цікаві точки”) з точністю близько 1 м. З іншого боку, проекти, які імітують віртуальні джерела звуку, такі як Virtual Acoustic Space[24], зазвичай, потребують позиціонування із точністю до см, на додаток до часток секунди, щоб узгодити вихідні звуки з функції моделювання сприйняття звуку (HRTF англ. Head Related Transfer Function) із рухами голови. Це типові обмеження поточних програм змішаної реальності.

В існуючій на сьогодні класифікації по функціональному критерію виду підсистеми позиціонування варто замінити портативне та зовнішнє обладнання на пристрої з використанням Інтернету та GPS або ні. Такий розподіл дає більше можливостей для науковців в цій сфері, які планують імплементувати свої пристрої в умовах вулиці, де присутній надійний зв'язок або ж в умовах метро, де зв'язок є надто нестабільним.

Звісно, одними із найбільш привабливих технічних рішень є ті, які використовують переваги

вже розгорнутої інфраструктури, що відображається в абсолютній поширеності GNSS для зовнішнього розташування. Його також можна поєднати з мобільними мережами або портативними альтернативами, такими як INS (інерційна навігація) та/або раніше обговорюване позиціонування зору. Прикладом цього є всім відомий Google Maps [7], який може привести людину до певної адреси за допомогою аудіо підказок.

У той час як більшість GNSS і мобільних мереж можуть розмежовувати місцезнаходження користувача в межах кількох метрів навіть усередині приміщень, позиціонування без використання Інтернету та GNSS підвищує його точність аж до см. Крім того, ті самі перешкоди, які погіршують сигнали GNSS, наприклад, будівлі або мости, можуть стати хорошими опорними точками для технічних рішень, заснованих на обробці зображень, компенсуючи накопичену помилку.

Варто додати до класифікації також як окремі складові згідно критерію за видом позиціонування мережі Bluetooth та Wi-Fi, оскільки на їх базі вже є достатня кількість навігаційних розробок. Наприклад, використання Bluetooth-маяків вдало демонструє стандарт Wayfindr [11]. В основу технології реалізації цього стандарту покладено комбінацію Bluetooth-маяків, програмних додатків смартфона та навушників для керування рухом людей з вадами зору. Маяки складаються із модулів, розташованих в стратегічних місцях, наприклад, підземки або залізничного вокзалу, BLE-передавачі (Bluetooth Low Energy) яких використовуються для оповіщення мобільних пристроїв користувачів з порушеннями зору. При цьому програмний додаток смартфона збирає сигнали трьох найближчих маяків, фізичні місця яких вже запрограмовані в додатку як шляхові реперні точки та порівнюючи їх рівні визначає розташування користувача відносно точок маршруту, передаючи йому голосові навігаційні

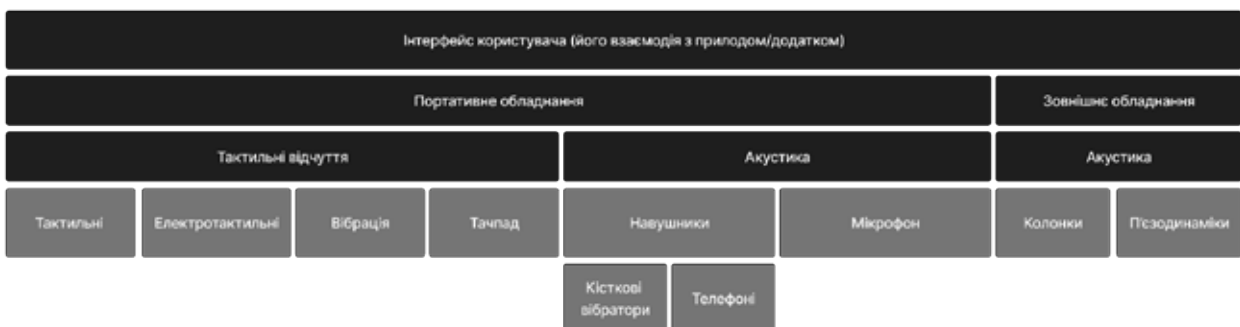


Рис. 2. Розширена класифікація на основі критерію інтерфейс користувача

інструкції через навушники. Іншим аналогічним прикладом є робота [15] з використанням Wi-Fi радіомаяків.

Також слід врахувати в класифікації за критерієм виду системи позиціонування складову у вигляді підсистеми технічного зору, що вдало демонструє технологія NaviLens [8], яка допомагає людям із вадами зору орієнтуватися у просторі та слухати рідну мову. Її основу складає набір кольорових піксельних тегів (схожих на QR-коди) і супутній додаток для смартфона. Камера смартфона користувача сканує оточення на предмет тегів, в той час як додаток вмикає збережену аудіо-інформацію тега. Кожна мітка стратегічно розміщена і індивідуально запрограмована з інформацією про маршрут, відстань і напрямок до платформ, інформацію про прибуття та відправлення, а також про квіткові кіоски і місця відпочинку. Тег має квадратну форму зі сторонами приблизно 13 см і найважливіше, що зі смартфона його можна прочитати на відстані до 12 м за 30 мс. Зчитування працює також і під час руху і навіть без фокусування.

В результаті по функціональному критерію вид системи позиціонування отримуємо доопрацьовану класифікацію, наведену на рис. 3.

Якщо класифікувати існуючі навігаційні технології по функціональному критерію моніторингу довкілля, то в першу чергу їх можна розділити на пристрої, які використовують портативне або зовнішнє обладнання, як це наразі і є в існуючій класифікації.

Але у зовнішньому обладнанні у порівнянні з існуючою класифікацією є сенс лише для зовнішньої обробки даних, яка робить додатки більш оптимізованими і гнучкими до змін. Наприклад, при оновленні певного повідомлення чи процедури надання інструкції користувачу з вадами

зору немає необхідності оновлювати сам додаток, оскільки він може зберігатися віддалено і користувач просто зможе отримувати оновлену інформацію завдяки своєму запиту.

Зручним і оптимальним рішенням, яке буде менше навантажувати пристрій користувача, наприклад, смартфон, буде визначення його позиціонування по відео, тегам тощо з використанням віддаленої обробки. Звісно, це є ефективним при умовах наявності Інтернет-з'єднання, але таким чином можна знизити завантаженість пристрою, яка може призвести до непередбачуваних помилок. А надання користувачам Інтернет-з'єднання в метро є набагато простішим, аніж надання з'єднання зі супутником.

Навігаційні системи для користувачів з вадами зору повинні збирати конкретні дані про навколишнє середовище для ефективного та безпечного пересування користувачів, при цьому слід розрізняти статичні та динамічні перешкоди на їх шляху.

Статичні перешкоди, наприклад, сходи, будівлі, огорожі тощо можна відносно легко виявляти за допомогою записів про їх знаходження в спільних базах даних. Прикладом цього може бути вже згадана вище технологія Wayfindr, оскільки близькість користувачів до її Bluetooth-маяків запускає генерацію вказівок та сповіщень про найближчі перешкоди.

Динамічні ж елементи, наприклад, пішоходи, автівки, мотоцикли повинні визначатися за допомогою датчиків, таких як камери, сонар, LiDAR тощо незалежно від того, чи йдеться про віддалене зовнішнє обладнання чи про навігаційні пристрої, яке має користувач з вадами зору при собі. Класичними прикладами таких рішень є пристрої для виявлення перешкод на основі ехолота Ultrascane [3] і Miniguide [4] або ті, що працюють на основі комп'ютерного зору чи інфрачервоного випромінювання.

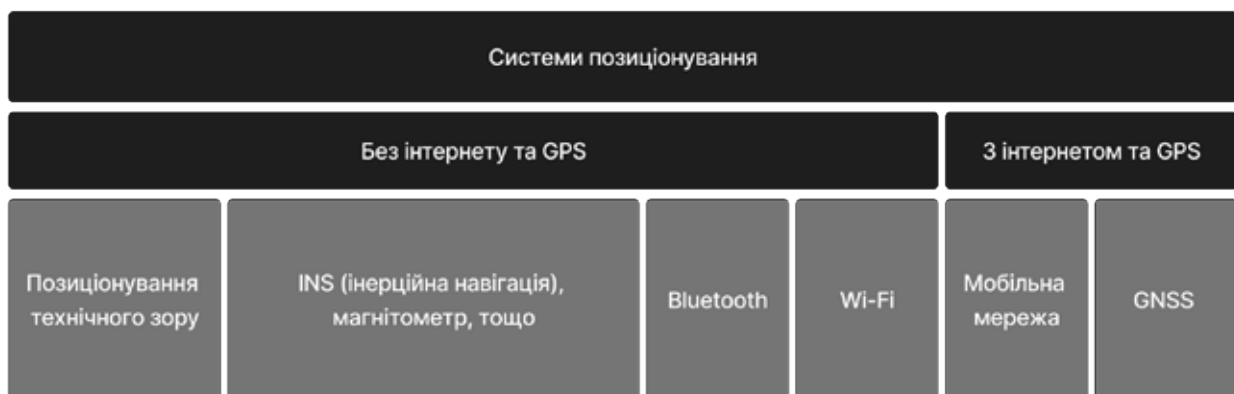


Рис. 3. Модифікована класифікація на основі критерію вид системи позиціонування

Щодо використання датчиків для керування пересуванням, то доцільніше буде перемістити їх в портативне обладнання. В той час як альтернативне спільне інформування, яке дозволяє знаходити одному користувачу перешкоду та додавати її на сервер чи одразу ділитися з користувачами неподалік, варто розуміти як частину віддаленої обробки.

В результаті проведеного аналізу навігаційних рішень за функціональним критерієм моніторинг довкілля отримаємо класифікацію, наведену на рис. 4.

Виходячи із наведених вище результатів аналізу сучасних навігаційних пристроїв і систем для користувачів з вадами зору та, як наслідок, доповненої і модифікованої їх класифікації проведемо обґрунтування вибору архітектури власного розроблюваного навігаційного рішення.

На нашу думку за функціональним критерієм інтерфейс користувача більш доцільним для розробки є вибір портативного обладнання, оскільки воно об'єктивно є зручнішим і більш доступним, має поєднувати тактильні відчуття як вібрація та тачпад, а також мати акустичні складові у вигляді мікрофону і кісткових вібраторів. Це дозволить одразу охопити як незрячих та слабозорих людей,

які більше сприймають оточуючий світ через дотик (кінестети), так і тих, хто сприймає краще довкілля через звук (аудіали). Результати вибору складових архітектури розроблюваного навігаційного рішення виділено зірочками в модифікованій авторами класифікації на основі функціонального критерію інтерфейс користувача (рис. 5).

При виборі складових архітектури за критерієм вид системи позиціонування великі можливості має позиціонування на основі технічного зору, яка потребує використання лише камери та портативного пристрою чи зовнішнього сервісу для обробки. При цьому також не буде зайвим наявності додаткового підстраховуючого функціоналу на основі Bluetooth та Wi-Fi радіомаяків для місць з неякісним зв'язком сотової мережі. Нижче на рис. 6 зірочками виділено складові архітектури розроблюваного рішення на основі модифікованої авторами класифікації за функціональним критерієм вид системи позиціонування.

При виборі складових архітектури за критерієм моніторинг довкілля оптимальним буде використання камер (виділено зірочкою, рис. 7), оскільки вище в розроблюваному рішенні за



Рис. 4. Модифікована класифікація на основі критерію моніторингу довкілля



Рис. 5. Складові архітектури розроблюваного навігаційного рішення (виділено зірочками): критерій – інтерфейс користувача

критерієм вид системи позиціонування обрано технічний зір. З метою оптимізації розрахунків, зберігання та оновлення нових даних також знадобиться зовнішнє обладнання у вигляді складової “Віддалена обробка та бази даних” (виділено зірочкою, рис. 7).

Таким чином, можна констатувати сукупність всіх необхідних складових (виділених зірочками) функціоналу архітектури навігаційної системи для користувача з вадами зору, яка буде покладена в основу розроблюваного власного рішення. При цьому їх аналіз дозволяє стверджувати, що в якості основи для реалізації цього рішення доцільно використати смартфон, функціональні можливості якого забезпечують більшість із необхідних складових функціоналу.

Звичайно, слід звернути увагу на існуючий наразі стереотип, що незрячі використовують для навігації лише тростини і не користуються смартфонами чи комп’ютерами. Однак, це хибна думка, оскільки на сьогодні є немало технічних апробованих рішень для незрячих, в яких використову-

ються саме смартфони, що обумовлено, в тому числі, і наявністю технологій для озвучування всього тексту на екрані, наприклад, в Iphone – це VoiceOver, в Android – це TalkBack.

В контексті вибору програмного додатку для смартфона в розроблюване рішення заслугоує на увагу односторінковий веб застосунок / веб сайт SPA (Single Page Application), який розміщується на одній сторінці з метою забезпечити користувачу з вадами зору досвід, близький до використання настільною програмою. Його перевага полягає в тому, що він не потребує скачування і встановлення, завантажуючи цим пам’ять телефону. Також не буде необхідності користувачу скачувати оновлення, особливо критичні, адже все це буде відбуватися автоматично при оновленні сайту, тому це є визначальним фактором при виборі саме такої архітектури, яку пропонується покласти в основу реалізації власного тифлотехнічного навігаційного рішення.

На додаток до цього слід зазначити, що з розвитком технологій на базі веб застосунків з’явилася

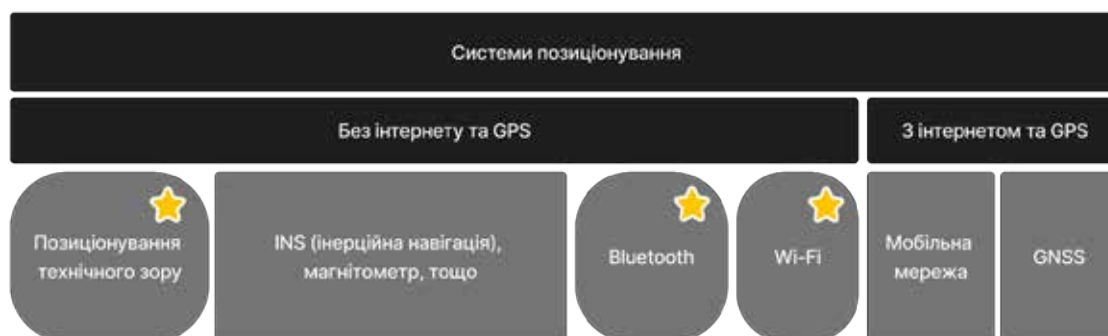


Рис. 6. Складові архітектури розроблюваного навігаційного рішення (виділено зірочками): критерій – вид системи позиціонування



Рис. 7. Складові архітектури розроблюваного навігаційного рішення (виділено зірочками): критерій – спосіб моніторингу довкілля

велика кількість фреймворків для технічного зору, зокрема, такі як:

- TensorFlow.js [25], одна з найбільших фреймворків машинного навчання;
- Amazon Rekognition [26], потужний хмарний інструмент, який може детально розпізнавати деталі обличчя;
- OpenCV.js [27], одна з найстаріших фреймворків комп'ютерного зору, яка має версію JavaScript, що дозволяє розробникам впроваджувати ці функції на веб-сайті;
- Tracking.js [28], дозволяє інтегрувати розпізнавання обличчя з JavaScript з досить простим налаштуванням;
- WebGazer.js [29], дозволяє додаткам знати, куди людина дивиться за допомогою входу з камери;
- Three.js [30], фреймворк від Google, розширює функціональні можливості ARCore на зовнішній JavaScript, що дозволяє інтегрувати виявлення поверхонь і об'єктів у браузері.

З наведених вище фреймворків виділяється OpenCV.js, оскільки він доступний та апробований багатьма фахівцями у галузі комп'ютерного зору. Також досить важливим є те, що він є "open source" проектом з великою аудиторією людей, які його розвивають, удосконалюють і вишукують помилки. Тому створювати, підтримувати та оновлювати додатки на його базі в подальшому буде набагато простіше у порівнянні з іншими переліченими вище інструментами.

Висновки. Проаналізовано останні дослідження та публікації щодо функціональних можливостей сучасних тифлотехнічних навігаційних систем для сліпих та слабозорих, реалізованих, зокрема, на основі GPS, інерціальних систем навігації, різноманітних Wi-Fi/Bluetooth радіомаяків, тег-міток у вигляді спеціальних кольорових картинок, технологій штучного інтелекту і технічного зору з використанням тактильних, вібраційних, звукових та інших способів взаємодії користувача з вадами зору з тифлотехнічною системою,

а також специфічних пристроїв синтетичного зору з візуальними відчуттями та використанням нейронної пластичності людського мозку.

Встановлено, що протягом останнього часу на ринку спостерігається безпрецедентне зростання кількості різноманітних нових тифлотехнічних навігаційних інструментів компенсації відсутніх у незрячих та слабозорих користувачів сенсорних даних для досягнення пункту призначення, що потребує подальшого їх упорядкування та систематизації.

Розглянуто, модифіковано та розширено із врахуванням новостворених технічних рішень класифікацію тифлотехнічних навігаційних систем відповідно до трьох основних функціональних критеріїв: способу взаємодії користувача з навігаційною системою (людино-машинного інтерфейсу або інтерфейсу користувача), виду системи позиціонування та способу моніторингу оточуючого середовища.

На основі модифікованої та доповненої класифікації обґрунтовано вибір архітектури для розроблення власного тифлотехнічного навігаційного рішення на основі смартфона та програмного односторінкового веб застосунку SPA – програмного додатку, який не потребує скачування і встановлення, завантажуючи цим пам'ять смартфона, а також скачування оновлень, особливо критичних, оскільки все це буде відбувається автоматично при оновленні веб сайту.

Обґрунтовано вибір для використання у веб застосунку фреймворку OpenCV.js, доступного та апробованого багатьма фахівцями у галузі комп'ютерного зору і який є "open source" проектом з великою аудиторією людей, що його розвивають, удосконалюють і вишукують помилки. Тому створювати, підтримувати та оновлювати додатки на його базі в подальшому буде набагато простіше у порівнянні з іншими фреймворками.

Напрямок подальших досліджень є розроблення згідно запропонованої авторами архітектури алгоритмічних і програмних рішень власного тифлотехнічного навігаційного пристрою.

Список літератури:

1. Vision Loss Expert Group of the Global Burden of Disease Study. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years: evaluating the prevalence of avoidable blindness in relation to "VISION 2020: the Right to Sight". *Lancet Global Health* 2020. DOI:10.1016/S2214-109X(20)30489-7
2. Hersh, M.A.; Johnson, M.A. *Assistive Technology for Visually Impaired and Blind People*; Springer: London, UK, 2008; ISBN 9781846288661.
3. Ultracane. URL: <https://www.ultracane.com/>
4. Miniguide. Hersh, M.A.; Johnson, M.A. *Assistive Technology for Visually*
5. Borenstein, J. The guidecane—A computerized travel aid for the active guidance of blind pedestrians. In *Proceedings of the 1997 International Conference on Robotics and Automation (ICRA 1997)*, Albuquerque, NM, USA, 20–25 April 1997; IEEE: Piscataway, NJ, USA; Volume 2, pp. 1283–1288.

6. Shoval, S.; Borenstein, J.; Koren, Y. Mobile robot obstacle avoidance in a computerized travel aid for the blind. In Proceedings of the 1994 IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Diego, CA, USA, 8–13 May 1994; pp. 2023–2028.
7. Google Maps. URL: <https://www.google.com/maps/about/#!/>
8. NaviLens. Technology for the visually impaired. URL: <https://www.navilens.com/>
9. NAVI. URL: https://www.researchgate.net/publication/221054048_NAVI_-_A_Proof-of-Concept_of_a_Mobile_Navigational_Aid_for_Visually_Impaired_Based_on_the_Microsoft_Kinect
10. Virtual Haptic Radar. URL: https://www.researchgate.net/publication/234802354_Virtual_Haptic_Radar
11. Open Standard for Audio-based Wayfinding. (2018). URL: <http://www.wayfindr.net/wp-content/uploads/2018/07/Wayfindr-Open-Standard-Rec-2.0.pdf>
12. vOICe. URL: <https://www.seeingwithsound.com/>
13. Classification of visually impaired devices. URL: <https://thelib.info/mashinostroenie/1194948-klassifikaciya-tiflotekhnicheskikh-ustrojstv/>
14. Real, S., Araujo, A. Navigation Systems for the Blind and Visually Impaired: Past Work, Challenges and Open Problems. *Sensors* 2019, 19, 3404. <https://doi.org/10.3390/s19153404>
15. Poliakov A. O., Radchenko K. M. (2017-2018). Aparatno-prohramnyi kompleks navihatsii dlia liudei z invalidnistiu za zorom. Naukova robota dlia uchasti u Vseukrainskomu konkursi studentskykh ta naukovykh robot z pryrodnychkyh, tekhnichnykh i humanitarnykh nauk u haluzi «Elektronika» [Hardware and software navigation system for the visually impaired. Scientific work for participation in the All-Ukrainian competition of student and scientific works in natural, technical and human sciences in the field of Electronics Retrieved from <http://inel.stu.cn.ua/konkurs/2018/BlindNavigation.pdf> Kyiv: NAU (in Ukrainian)
16. WeWalk. URL: <https://wewalk.io/en/>
17. Virtual Acoustic Space. URL: <https://www.iac.es/en/projects/virtual-acoustic-space-eav>
18. Blitab. URL: <https://blitab.com/cgi-sys/suspendedpage.cgi>
19. BrainPort. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0145482X1611000202>
20. Forehead Retina System. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.497.8483&rep=rep1&type=pdf>
21. HamsaTouch. URL: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2559206.2581164>
22. Stanford Researchers make a Self-Navigating Smart Cane. URL: <https://www.newsdeskindia.com/news/technology/4464.Stanford-Researchers-make-a-Self-Navigating-Smart-Cane-.html>
23. Lazzus. URL: <http://www.lazzus.com/en/>
24. Virtual Acoustic Space. URL: <https://www.iac.es/en/projects/virtual-acoustic-space-eav>
25. TensorFlow.js. URL: <https://www.tensorflow.org/js>
26. Amazon Rekognition. URL: <https://docs.aws.amazon.com/rekognition/latest/dg/faces-detect-images.html>
27. OpenCV.js. URL: https://docs.opencv.org/3.4/d5/d10/tutorial_js_root.html
28. Tracking.js. URL: <https://trackingjs.com/>
29. WebGazer.js. URL: <https://webgazer.cs.brown.edu/>
30. Three.ar.js. URL: <https://github.com/google-ar/three.ar.js>

Khapchenko O.V., Lysenko O.M. MODIFIED CLASSIFICATION OF TIFLOTECHNICAL NAVIGATION SYSTEMS AND JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF ARCHITECTURE OF THE DEVELOPED NAVIGATION SOLUTION

Analyzed the latest research and publications on the functional capabilities of modern typhlo-technical navigation systems for the blind and visually impaired, implemented, in particular, on the basis of GPS, inertial navigation systems, various Wi-Fi / Bluetooth beacons, tag labels in the form of special color pictures, artificial intelligence and technical vision technologies using tactile, vibration, sound and other ways of interaction of the user with visual impairments with the typhlo-technical system, as well as specific synthetic vision devices with visual inputs and using neural plasticity of the human brain.

It has been established that recently the market has seen an unprecedented growth in the number of various new typhlo-technical navigation tools to compensate for the lack of sensory data for blind and visually impaired users to reach their destination, which requires further streamlining and systematization.

The classification of tiftotechnical navigation systems in accordance with three main functional criteria: the way of user interaction with the navigation system (human-machine interface or user interface), the type of positioning system and the way of monitoring the environment are considered, modified and expanded taking into account the newly created technical solutions.

On the basis of the modified and supplemented classification, the choice of architecture for the development of its own typhlo-technical navigation solution based on a smartphone and SPA software application is substantiated.

The choice of the OpenCV.js framework, which is available and tested by many specialists in the field of computer vision and which is an "open source" project with a large audience of people who develop, improve and search for errors, for use in the web application is substantiated.

Key words: typhlotronics, navigation for the blind and visually impaired, classification, positioning system, environmental monitoring, user interface, smartphone, SPA application.