

ПРИКЛАДНА ПРОГРАМНА СИСТЕМА ОПРАЦЮВАННЯ УКРАЇНОМОВНИХ ТЕХНІЧНИХ ТЕКСТІВ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ВАДАМИ ЗОРУ

© Лозицький О. А., 2015

Наведено наукові та практичні результати дисертаційного дослідження О. А. Лозицького на тему “Прикладна програмна система опрацювання українськомовних технічних текстів для людей з вадами зору”. Автор розробив математичне та програмне забезпечення прикладної системи опрацювання українськомовних технічних текстів для людей з вадами зору. Досліджено проблему автоматичного озвучення математичних формул та символів, а також удосконалено метод трансформації синтаксичного дерева. Розроблено прикладну програмну систему, яка складається з набору методів обробки і перетворення даних для озвучення українською мовою математичних формул та символів, записаних у різних форматах. У результаті розроблено програму озвучення математичних формул “MathPlay”, яка показала хороший результат розуміння на слух озвучених формул користувачем – 92,5 %, для різних за складністю формул. Експериментально доведено доцільність застосування змішаних методів для створення DAISY книг. Адаптовано методи створення книг, що “розмовляють”, до української мови. Розроблено автоматизоване робоче місце незрячого користувача та прикладну систему опрацювання українськомовних технічних текстів.

Ключові слова: програмна система, обробка українськомовного технічного тексту, математична формула, вада зору, синтаксичне дерево, озвучення, автоматизоване робоче місце, DAISY, MathML.

This paper describes the results of O. Lozysky's dissertation research, basis on development of new computational methods and software of the computerized data processing and presentation for people with visual impairments system. Author developed applied programmed system of Ukrainian technical texts processing that consists of a set of processing and conversion methods for automatic reading mathematical formulas and symbols of the Ukrainian language, which written in a variety of formats. Unlike prior methods, it is more directed towards the segmentation and reading by the rules rather than streaming audio. As a result it was developed automatic reading system for set of different complexity of mathematical formulas (read correctly: 92.5 %). The system can be used by visually impaired people for studying the basics of mathematics, physics, astronomy, etc. Also, author adapted information technology of DAISY (Digital Accessible Information System) books producing for Ukrainian language. It can help to make DAISY books with math to study blind people.

Key words: applied programmed system, Ukrainian technical text processing, mathematical formula, visual impairment, syntax tree, sounding, automation equipped working place, DAISY, MathML.

Вступ

Наведено результати дисертаційного дослідження О. А. Лозицького на тему “Прикладна програмна система опрацювання українськомовних технічних текстів для людей з вадами зору”.

Наукове дослідження присвячено розробленню прикладної програмної системи опрацювання україномовних технічних текстів для людей з вадами зору. Створені у процесі дослідження методи та програмні засоби опрацювання і перетворення україномовного контенту можна використати для розв'язування широкого кола задач інформаційної доступності, зокрема автоматизації процесів створення аудіокниг та структурованих профільних підручників, відповідно до вимог DAISY.

Представлені у роботі дослідження проведено в рамках українсько-шведського проекту, який передбачав підготовлення спеціалізованого навчального матеріалу для незрячих користувачів. Проведено тренінги та навчання для людей з частковою і повною втратою зору на спеціалізованому обладнанні. На базі кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету "Львівська політехніка" створено спеціалізований навчальний кабінет за назвою "Ресурсний центр освітніх інформаційних технологій для осіб з особливими потребами". В ньому облаштовано автоматизоване робоче місце незрячого користувача, що дало можливість створювати DAISY книги українською мовою безпосередньо самому незрячому.

Роботу виконано відповідно до напрямів наукової діяльності кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету "Львівська політехніка", державної науково-дослідної роботи "Математичне та програмно-алгоритмічне моделювання процесів трансляції жестів у текст для спеціалізованих комп'ютерних систем" у 2011–2012 рр. (номер державної реєстрації 0111U001222).

Визначено, що ключові завдання у процесі створення прикладної програмної системи опрацювання україномовних технічних текстів – оптимізація процесу підготовлення вхідного контенту системи, розроблення методів перетворення та озвучення технічних текстів, а також створення DAISY книг українською мовою. Автор розробив класифікацію книг та електронних документів з огляду на можливості стандарту DAISY, що дало змогу зменшити час на створення книги та вибрати оптимальну навігаційну схему відповідно до типу книги; введено базу знань, у якій використано методи опрацювання файлів різних форматів, що дало можливість створювати DAISY книги українською мовою, використовуючи змішані методи та методи озвучення математичних формул українською мовою.

Постановка проблеми

Із стрімким розвитком персональних комп'ютерів, їх повсюдним поширенням постало завдання – забезпечити доступ до інформаційних технологій користувачів з особливими потребами, зокрема людей з вадами зору. Для таких осіб стрімко розробляються нові комп'ютерні технології доступу до освітніх інформаційних ресурсів та спеціальне програмне забезпечення, облаштовуються сучасні комп'ютеризовані робочі місця.

Сучасні комп'ютерні засоби здатні не лише перетворювати цифрові дані на зручний для незрячого аудіоканал або крапковий шрифт Брайля, але й забезпечити незрячого повноцінним комп'ютеризованим робочим місцем із різноманітними можливостями, починаючи від роботи у текстових редакторах і закінчуючи доступом до мережі Інтернет або освоєнням мов програмування [1, 2]. Результати досліджень доступності інформації для незрячих відображено у роботах таких науковців, як Джефрі П. Бігхем, Максвел Б. Елер, Джеремі Т. Бравік, Джесіка О. Ліанг, Алесандро Гомез та ін. Проблема доступності інформації для незрячих загострюється через відсутність цілісних підходів до створення робочих місць для користувачів з вадами зору, недосконалість методів підготовлення і класифікації даних, відсутність програмно-алгоритмічних засобів автоматизованого формування та подання контенту, зокрема у форматі книги, що "розмовляє", DAISY (Digital Accessible Information System).

На відміну від України, у США та країнах Європи давно розроблено якісні синтезатори мови, програми читання інформації з екрана та озвучення технічних текстів, комп'ютеризовані робочі місця, навчально-методичні матеріали, впроваджено якісне інклюзивне навчання у закладах освіти тощо. Ці технології практично неможливо перенести на українську мову через специфіку в звучанні, своєрідну фонетику та граматику, правила побудови речень тощо. Тому для того, щоб розв'язати задачу україномовної локалізації програмного продукту та забезпечити зручність для

кінцевого незрячого користувача, потрібно розробити нові або адаптувати відомі розроблення, модифікуючи системи і технології.

Україномовний синтез у цій роботі розглянуто в контексті подання і відтворення технічних текстів, зокрема математичних формул та символів як одну з проблем доступу до інформаційних ресурсів для незрячих користувачів.

Відомі методи не забезпечують повного вирішення проблеми доступності інформації для україномовного незрячого користувача та не дають можливості розробити автоматизовану систему опрацювання україномовних технічних текстів, а тому вдосконалення відомих та розроблення нових методів опрацювання, перетворення й подання даних для людей з вадами зору є актуальним науковим завданням. Проведене дослідження присвячено розробленню прикладної програмної системи опрацювання україномовних технічних текстів для людей з вадами зору. Створені у процесі дослідження методи та програмні засоби опрацювання і перетворення україномовного контенту можна використати для розв'язування широкого кола задач інформаційної доступності, зокрема автоматизації процесів створення аудіокниг та структурованих профільних підручників, відповідно до вимог стандарту DAISY [3, 4].

Формулювання цілі статті

Основною ціллю наукової статті є представлення результатів дисертаційного дослідження, що проводилось на базі кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету "Львівська політехніка" і має на меті розроблення прикладної програмної системи опрацювання україномовних технічних текстів для людей з вадами зору.

Для досягнення поставленої мети, на основі аналізу сучасного стану розроблення та впровадження таких систем, було сформульовано ряд задач, серед яких:

- розробити методи та алгоритми автоматизованого процесу вибору рівнів навігації за структурними ознаками тексту;
- підвищити ефективність процесу підготовки контенту для створення DAISY книг;
- розробити програмно-алгоритмічні засоби перетворення формул на формат, який можна озвучити синтезатором української мови;
- розробити прикладну програмну систему озвучення україномовних технічних текстів заданого класу з різних джерел;
- експериментально обґрунтувати доцільність використання змішаних методів аудіювання для створення DAISY книг;
- експериментально обґрунтувати доцільність розроблення прикладної програмної системи озвучення україномовних технічних текстів для створення DAISY книг.

Об'єктом дослідження вибрано процес подання україномовних технічних текстів для людей з вадами зору, а *предметом дослідження* – методи опрацювання та подання україномовних технічних текстів у аудіоформаті.

Аналіз сучасних наукових досліджень та технологічних розробок, зорієнтованих на незрячих користувачів

Сьогодні питанням навчання осіб з вадами зору (дошкільнят, школярів, студентів, осіб, що бажають підвищити кваліфікацію) займаються багато вчених, дослідників, фахівців у провідних країнах світу, а держава їх матеріально підтримує. В Україні ці питання залишаються проблематичними і наболілими. Вирішення проблеми доступності інформації та підготовки навчально-методичного контенту допоможе самореалізовуватись людям з частковою та повною втратою зору.

Формулювання проблеми незрячих охоплює велику кількість досліджень, зокрема, на тематику крапкових шрифтів Брайля, Абата Лана, III. Барб'є, Гебольда тощо [5], розроблення методів та засобів представлення графіки і діаграм [6, 7], використання аудіоканалу, навчально-методичної бази, програмного й апаратного забезпечення [8].

На слух незряча людина сприймає інформацію значно швидше і, відповідно, у більших обсягах, аніж тактильно. Крім того, на відміну від брайлівських книг, аудіолітература зберігається у компактній формі. Сьогодні створено безліч аудіоформатів для запису книг відповідно до потреб слухача [9]. Для незрячих користувачів також розроблено спеціалізований формат книги DAISY, який має можливості, необхідні незрячому, такі як навігація сторінками книги або додавання голосових міток до відповідного розділу та багато інших.

У результаті детального аналізу стандарту DAISY встановлено, що він придатний для забезпечення потреб незрячого структурованим навчально-методичним матеріалом, оскільки забезпечує створення аудіокниг з використанням гнучкої навігації та графічної інформації. Користувачі можуть прослухати всю книгу лінійно, а засоби навігації дають змогу швидко переходити по розділах, підрозділах, параграфах, сторінках і навіть знайти потрібне слово у книзі. Стандарт дає змогу позначати закладками різні місця у тексті для повторного прослуховування та залишати голосові мітки.

Інакше кажучи, на аудіокнигу накладається навігаційна карта, і “читач” може не тільки прослухати текст, але й працювати з ним: робити закладки, примітки, оперативно отримувати потрібну інформацію.

Специфікація DAISY використовує багато перехресних посилань між текстовими файлами XHTML, аудіозаписами MP3, файлами синхронізації SMIL та навігаційного контролю NCX (рис.1). XHTML (Extensible Hypertext Markup Language) – це розширювана мова розмітки гіпертексту, що ґрунтується на XML і за можливостями схожа на мову HTML.

Для представлення математичних виразів у книгах, що “розмовляють”, стандарту DAISY призначена мова математичної розмітки MathML, адже вона є елементом XML і розроблена для використання у документах XHTML.

Мова MathML не є читабельною мовою для синтезатора, тому використовують різні засоби для її трансформування на відповідні математичні нотації та текстовий опис. Програвачі для відтворення книг DAISY використовують нотації LAMBDA, LaTeX і Nemeth (табл. 1).

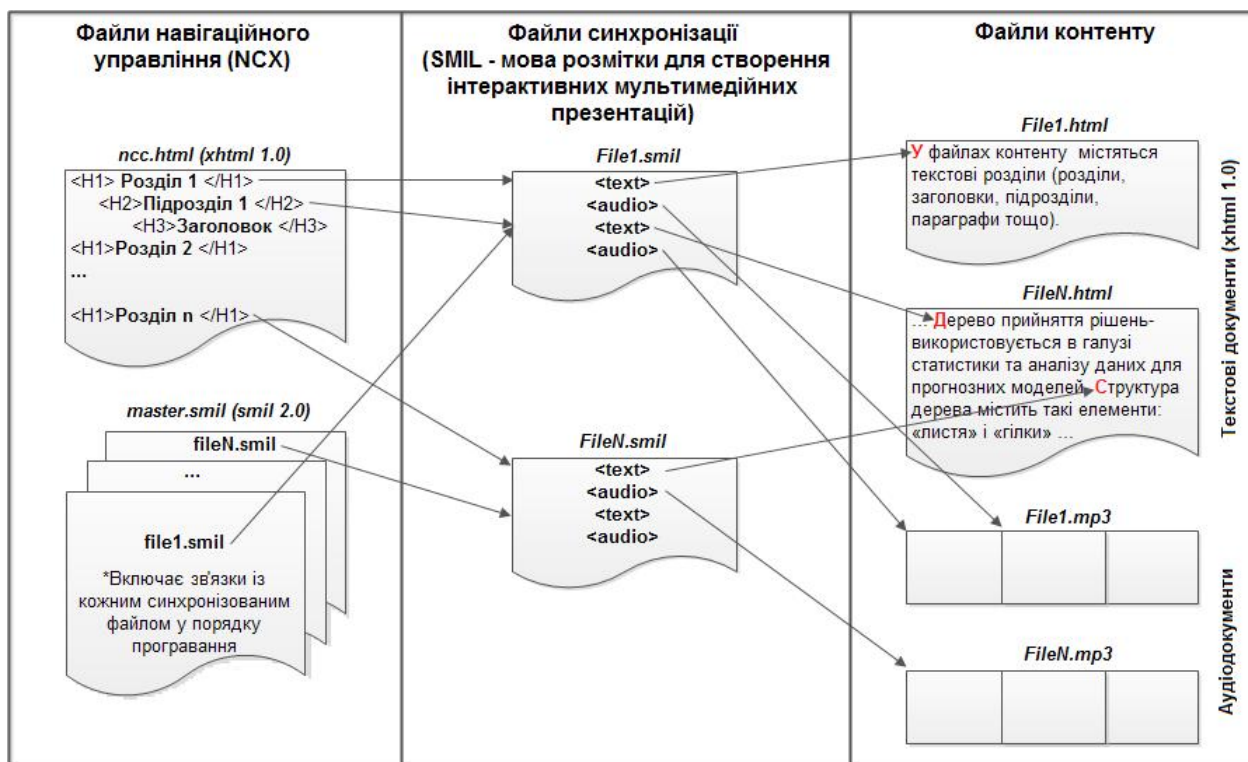


Рис. 1. Структурна схема DAISY книги

Кодування математичних формул у різних нотаціях

Кодування формули (нотації)	Приклад
Традиційне	$1 + \sqrt{\frac{x^2 - y^2}{x + y}}(x - y) = 0$
LaTeX	<code>1+\sqrt{((x**2-y**2) / (x+y)) * (x-y) }=0</code>
AMS	<code>1+(((x**2-y**2) / (x+y)) * (x-y)) //2=0</code>
Nemeth	<code>#1+>?X^2"-Y^2"/X+Y#(X-Y)] .К #0</code>

Залежно від різновиду програвача він може озвучувати математичні формули, альтернативний текст (словесний опис формули), працювати зі структурою формули, перетворювати формулу на брайлівське представлення тощо.

Використання мови MathML у стандарті DAISY забезпечило підтримку математики у книгах, що “розмовляють”, і дало змогу незрячому користувачеві вивчати математику в зручний для нього спосіб.

На рис. 2 зображено, як саме відбувається доступ до відповідної математичної формули під час читання DAISY книги. Елемент `<text>` файлу SMIL, який відповідає запису формули мовою MathML, використовує атрибути, які вказують на те, що у тексті книги виявлено формулу. Після цих атрибутів у файлі DTBook записується математична формула $\sqrt[3]{x}$ засобами MathML:

```
...
<m:root>
< m:mi>x</ m:mi>
< m:mn>3</ m:mn>
</ m:mroot>
...
```

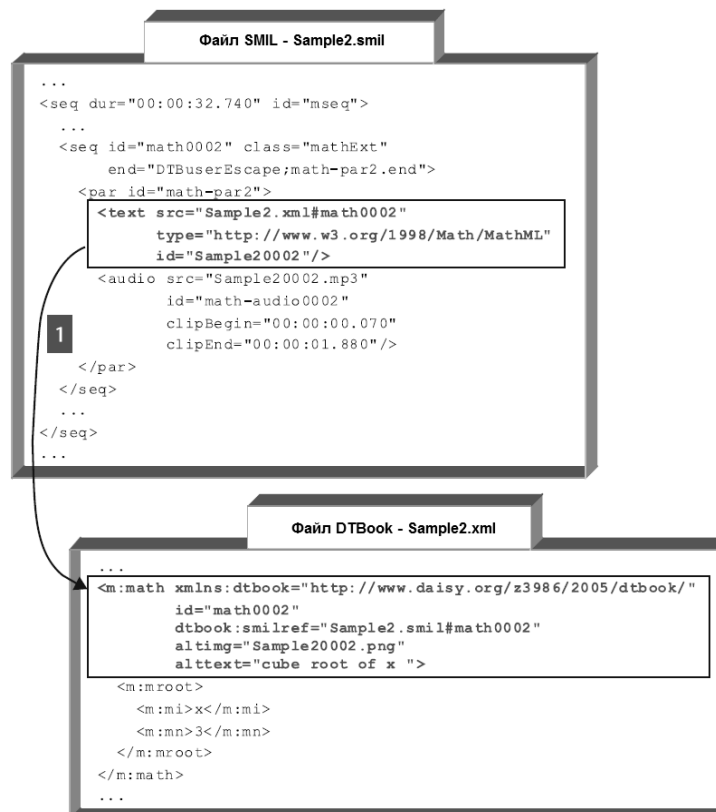


Рис. 2. Використання математичної формули у DAISY книзі

Для автоматизації процесу перетворення формул, записаних мовою MathML, на текст, необхідні додаткові програмні засоби декомпозиції формул і перетворення їх на текстовий опис. Для опрацювання та озвучення математичних формул англійською мовою використовують такі програмні засоби: MathType, Math DAISY Tool, Save-As-DAISY Word Plugin, MathPlayer, Save as DAISY XML тощо.

Автоматизація процесу підготовки контенту для створення DAISY книг

Аналіз області підготовки вхідного контенту для створення DAISY книг показав, що досі не розроблено стандартизованих методів оптимізації контенту, і цей етап розробники виконують на інтуїтивному рівні.

Одним із завдань наукового дослідження автора є підвищення ефективності процесу підготовки контенту для створення DAISY книг, адже це пришвидшить процес створення та покращить якісні характеристики структуризації книги. Під час дослідження проаналізовано різні жанри літератури, розроблено класифікацію типів книг з огляду на можливості стандарту DAISY.

У результаті аналізу різних видів тексту було встановлено, що структуру майбутньої DAISY книги доцільно визначати залежно від жанру книги. Для художніх книг із простою лінійною структурою (романи, вірші, новели), які рідко використовують для освітніх цілей і зазвичай читають послідовно, від початку до кінця, достатньо одно- або дворівневої навігації. Цифровими аудіозаписами нехудожніх книг (підручники, енциклопедії, збірники статей) значно зручніше користуватись, якщо вони детальніше поділені на рівні (параграфи, підрозділи, сторінки, окремі формули і таблиці тощо). За допомогою опитування як методу збирання первинної інформації визначено вісім типів книг, найпопулярніших серед незрячих читачів: повісті, романи, довідники, енциклопедії, словники, монографії, збірники наукових статей та підручники. В опитуванні взяло участь двадцять п'ять незрячих респондентів.

Одним із елементів автоматизації є розроблення критеріїв підвищення ефективності процесу підготовки вхідної інформації. Критерієм є найістотніша ознака, яка слугує мірилом для оцінювання ступеня досконалості системи в обраному напрямі. Екстремальне значення вибраного критерію виражає оптимальність системи за вибраною характеристикою.

Критеріями оцінювання ефективності обрано:

- зменшення часових затрат незрячого на користування книгою;
- вибір оптимальної навігаційної схеми книги для зручного прослуховування незрячим читачем; обмеженнями оптимальності встановлено шість рівнів навігації (відповідно до стандарту DAISY) та кількість жанрів (типів) книг.

Розроблено класифікацію типів книг та електронних документів з використанням методу дерев рішень “decision trees” та методу експертних оцінок [10, 11]. Під час експериментальних досліджень побудовано таблицю вхідних і вихідних атрибутів та дерево рішень. Це дало змогу вибирати оптимальну навігаційну схему відповідно до типу книги та автоматизувати цей процес.

У результаті реалізовано модуль пошуку структурних ознак тексту, який ґрунтується на методі пошуку за ключовими словами. Так, після завантаження книги у систему відбувається пошук структурних ознак (розділів, заголовків, параграфів, підрозділів тощо) за сформованою маскою ключових слів (“Розділ 1”, “Підрозділ 5”, “Список літератури” тощо). Пошук виконують за ключовими словами відповідно до маски пошуку, визначаючи параметри для подальшого розподілу на рівні навігації:

$$R = \sum_{w_i \in w} \text{contains}(w_i), \quad (1)$$

де R – кількість структурних одиниць книги; (w_i) – шукане ключове слово із множини структурних ознак книги w ; функція $\text{contains}(w_i)$ повертає 1, якщо за маскою пошуку знайдено ключове слово, або 0, якщо його не знайдено.

Потім, відповідно до сформованої бази знань та дерева рішень система визначає, на скільки навігаційних рівнів поділити вхідну книгу. Після цього кожен структурну ознаку книги записують у текстовий файл для подальшого озвучення синтезатором української мови.

Зроблено висновок про те, що методи класифікації книг та електронних ресурсів відіграють важливу роль у підвищенні ефективності документування та процесу підготовки текстової інформації. У результаті автоматизовано процес накладання навігації на книгу. Отримані результати можна використовувати у системах автоматизованої класифікації електронних документів.

У результаті проведених експериментальних досліджень визначено два методи створення DAISY книг, що “розмовляють”, та адаптовано їх до української мови, з розробленням класифікації типів електронних документів та книг.

Перший метод полягає у начитуванні україномовного друкованого матеріалу диктором у мікрофон та обробкою отриманого аудіозапису. Другий метод полягає в максимальній автоматизації процесу створення книги, зокрема озвучення створених текстових файлів за допомогою синтезатора української мови, а також перетворення та озвучення математичних формул і графічних об’єктів. У результаті отримано аудіозаписи всіх частин книги, які імпортують у програму PRS Pro та монтують кінцеву DAISY книгу.

Потім покроково описано метод побудови DAISY книги відповідно до запропонованих методів.

Крок 1: аналіз та класифікація вхідних даних (використано метод класифікації документів).

Крок 2: визначення структури книги та накладання навігації (використано метод пошуку за ключовими словами та метод дерев рішень).

Крок 3: пошук найважливішої інформації книги за спеціальними словами (використано змішані методи та метод пошуку за ключовими словами).

Крок 4: пошук математичних формул у тексті книги (використано метод дерев рішень та метод пошуку за ключовими словами). Цей процес стає доволі трудомістким, якщо у книзі трапляються формули у графічних форматах.

Крок 5: формування текстового файлу з описом формули українською мовою та його озвучення синтезатором мови (застосовано метод трансформування синтаксичного дерева та метод синтезу звуку). У результаті отримуємо аудіофайли у форматі MP3 або WAV.

Крок 6: компонування сформованих файлів книги. На цьому етапі використовується програмне забезпечення для побудови DAISY книг відповідно до потреб розробника.

На рис. 3 зображено блок-схему алгоритму формування контенту аудіокниги відповідно до розробленої прикладної програмної системи. На вхід подається файл текстового або графічного формату, потім програма ініціалізує вхідний формат файла, визначає оптимальний метод створення книги та видає відповідне повідомлення користувачу (якщо формат вхідного документа відмінний від HTML/ XHTML). Наступним етапом є пошук найважливішої інформації книги за спеціальними словами чи фрагментами тексту, які будуть озвучені голосом іншого диктора. На цьому етапі використовують змішані методи аудіювання та метод пошуку за ключовими словами. Потім перетворюють математичні формули на текстовий опис та розподіляють книгу на окремі частини відповідно до параметрів навігації. У результаті отримують множину вихідних текстових або аудіофайлів для імпортування у програмне середовище створення DAISY книг PRS Pro.

Розроблений алгоритм створення DAISY книги дав змогу автоматизувати процес побудови книги, що “розмовляє”, українською мовою. Зокрема це забезпечило підтримку україномовних технічних текстів та виділення найважливішої інформації у книзі.

Застосування змішаних методів для створення DAISY книг українською мовою

Грунтуючись на отриманих результатах Б. Джонсона (B. Johnson) та Е. Онвугбузі (A. Onwuegbuzie) під терміном “змішані методи” розуміємо такі, у яких поєднуються елементи якісного та кількісного підходів (якісні та кількісні погляди, техніки збирання даних, методи аналізу, способи виведення та подання тощо) для розширення дослідницьких цілей, глибшого розуміння досліджуваної проблеми і поліпшення доказової бази зроблених висновків.

Суть застосування змішаних методів до аудіювання полягає у пошуку найважливішої інформації книги за спеціальними словами чи фрагментами тексту, які будуть озвучені голосом

іншого диктора зі зміною інтонації. На цьому етапі дослідження використано змішані методи та метод пошуку за ключовими словами. Залежно від жанру та обсягу книги, такими елементами вважалися розділи, параграфи, абзаци, формули, окремі слова тощо.



Рис. 3. Блок-схема алгоритму створення DAISY книги

Для визначення найважливішої інформації книги було вибрано метод пошуку за ключовими словами. Пошук виконується за спеціальними словами та фрагментами тексту, після яких зазвичай викладається найважливіша інформація книги (наприклад, “Важливо”, “Увага”, “Правило”, “Теорема”, “Висновок”, “Тема”, “Мета” тощо). Окрім цього, до уваги брались різні типи списків, виділені жирним шрифтом абзаци, описи рисунків і таблиць тощо.

Отже, з книги можна було виділити найважливіші речення, абзаци, сторінки, які начитано повільніше, голосом іншого диктора, на відміну від решти контенту книги (рис. 4).

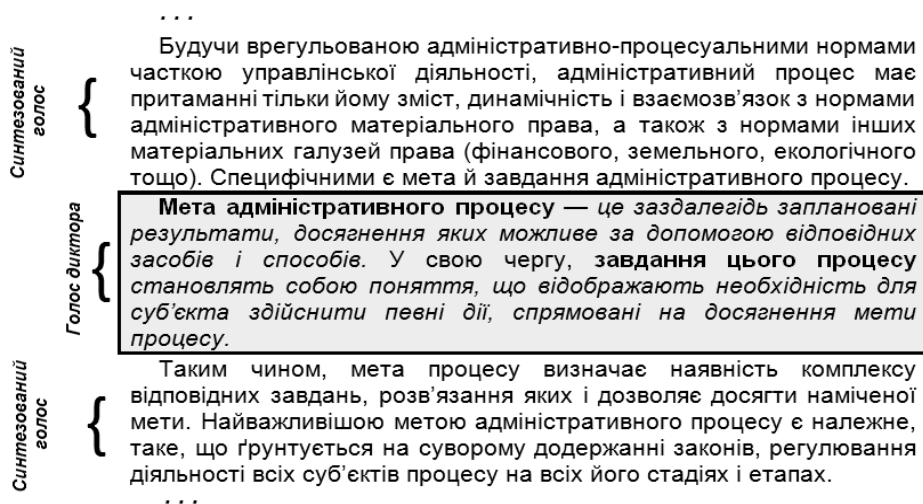


Рис. 4. Приклад використання змішаних методів аудіювання для створення аудіокниги

На рис. 5 зображено схему процесу створення звукового контенту, який надалі було використано для побудови книги, що “розмовляє”, відповідно до стандарту DAISY.

На першому кроці відбувається пошук спеціальних слів у вхідному текстовому файлі, відповідно до сформованої бази знань. Потім, на основі оцінки результатів пошуку програмний аналізатор приймає рішення, які фрагменти тексту зберігати у файл для озвучення синтезатором мови, а які має озвучити диктор. Наступним кроком є процес аудіювання та зберігання вихідного аудіоконтенту в форматі MP3 або WAV.



Рис. 5. Процес створення аудіоконтенту з використанням змішаних методів аудіювання

Програмно-алгоритмічні засоби озвучення математичних формул українською мовою

У процесі автоматизованого озвучення інформаційного контенту виникають проблеми, пов'язані із перетворенням та поданням математичних формул. Оскільки процес озвучення формул українською мовою до останнього часу не було досліджено та реалізовано, то незрячі користувачі змушені використовувати англійські програми озвучення формул, такі як MathDaisy, що незручно та потребує поглиблених знань англійської мови. Під час навчання та роботи незряча людина часто стикається із необхідністю прочитати математичні формули та символи, які містяться у текстах книг чи у підручниках. У результаті експериментальних досліджень виявлено, що найчастіше проблема розуміння математичних формул виникає під час:

- читання інтернет-сторінок із технічно-прикладним вмістом, оскільки відсутні засоби, які би давали змогу під час роботи в мережі Інтернет у реальному часі перекладати та озвучувати математичні формули;
- читання наукових статей у форматі PDF, адже існують недосконалі засоби розпізнавання математичних формул, представлених у вигляді рисунка з документів PDF і трансліювання їх мовою MathML та немає засобів озвучення таких формул;

- роботи з паперовою книгою із використанням зчитувального сканера (відомі засоби відображення та розпізнавання математичного контенту, друкованого на папері, проте не існує засобів його озвучення).

На основі аналізу проблеми розуміння математичних формул виділено чотири найважливіші етапи опрацювання: сканування формули, розпізнавання та перетворення формули до мови MathML, формування тексту для озвучення, озвучення формули або збереження її в аудіоформаті WAV.

Формула, записана мовою MathML, має деревоподібну структуру, що дає змогу однозначно описати семантику математичного виразу в інформаційній системі. Запис математичної формули мовою MathML можна зобразити у вигляді дерева, вершинами якого є операції та операнди.

Кожен вузол дерева відповідає певній схемі компоновання, а його гілки або нащадки – підвиразам. Тобто, це графічне представлення математичної формули, що показує, як саме теги MathML повинні бути вкладені один в одного для правильного відображення заданого математичного виразу на екрані (рис. 6).

Для перетворення математичних формул, поданих у різних варіантах запису MathML (презентаційний та семантичний), на текст українською мовою розроблено спеціальну систему правил. Система складається з правил запису математичних символів, операторів, загальних та уточнених виразів. Правила для уточнених виразів необхідні у випадку, коли результат читання залежить не лише від вузла дерева, але і від значення його нащадка. Наприклад, x^2 варто прочитати “ікс квадрат”, а не “ікс у степені два”. Правила сформовано так, щоб вихідний текст міг прочитати синтезатор української мови.

Для трансформування дерева математичного виразу MathML подається множиною вузлів $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ та функцією відображення вузлів на список їх нащадків $C: S \rightarrow L$, де L – множина усіх можливих списків, сформованих на множині S . Атрибутом $Text(s)$ кожного вузла s є текст, який зберігається у вузлі. Цей текст може бути тегом MathML, назвою математичної змінної, числовим записом або математичним символом.

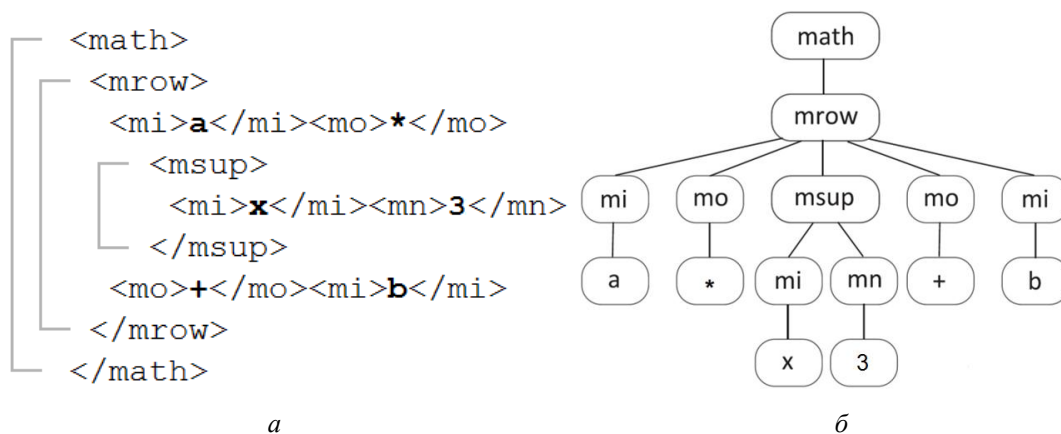


Рис. 6. Запис формули $a * x^3 + b$ мовою MathML (а), її зображення у вигляді дерева (б)

Для трансформування вузлів застосовують правила такої форми:

$$r = \langle t, n, T, G \rangle, \tag{2}$$

$$R = \{r_i\}, \tag{3}$$

де t – значення атрибута $Text(s)$ вузла s , до якого може застосовуватися правило; n – кількість нащадків вузла s ; $T = \langle t_1, t_2, \dots, t_n \rangle$ – список довжини n , який задає вимоги до кожного вузла нащадка; G – шаблон рядка, який генерується правилом; R – множина правил. Шаблон G може містити посилання на значення вузлів нащадків, наприклад, “*вираз1* поділити на *вираз2*”.

Усі правила трансформування впорядковано за пріоритетом від найдеталізованіших до найзагальніших та записано в список RuleList. Правило трансформування (2) може бути застосоване до вузла s , якщо виконуються такі вимоги:

$$\text{Text}(s) = t, \quad (4)$$

$$|C(s)| = n, \quad (5)$$

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}: t_i = \text{Text}(C(s)[i]) = t_i, \quad (6)$$

де $C(s)[i]$ позначає i -й елемент списку $C(s)$.

У результаті застосування правила трансформування до вузла s текстовий атрибут $\text{Text}(s)$ замінюється на рядок, згенерований за шаблоном G , а усі вузли-нащадки вузла s видаляються. Процедура трансформування вузла s визначається рекурсивно за таким алгоритмом:

Крок 1. Трансформувати усі вузли-нащадки зі списку $C(s)$.

Крок 2. Знайти в списку RuleList перше правило, яке може бути застосоване до вузла s та використати його.

Крок 3. Якщо на кроці 2 не знайдено жодного правила, то результатом трансформування вузла s є:

$$\text{Text}(s) + \text{Text}(C(s)[1]) + \dots + \text{Text}(C(s)[n]). \quad (7)$$

Трансформування усього виразу MathML полягає у застосуванні процедури трансформування до кореневого вузла.

Оскільки алгоритм обходить по одному разу кожен вузол дерева, перевіряють, чи правило можна застосувати до відповідного вузла (рис. 7).

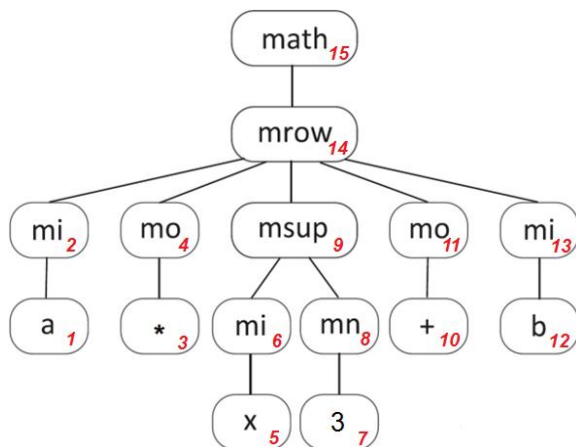


Рис. 7. Обхід вузлів дерева MathML формули (від 1 до 15) відповідно до алгоритму

Визначено, що оцінка обчислювальної складності алгоритму становить:

$$O(N * |R| * \max(t_i) + N^2 * L), \quad (8)$$

де N – кількість вузлів формули; $|R|$ – кількість правил; $\max(t_i)$ – максимальна довжина уточнювального правила; L – максимальна довжина текстового опису одного вузла.

У результаті виконання правил перетворення, наприклад, до математичної формули $a * x^3 + b$ створюється текстовий файл з описом цієї формули, який потім озвучується синтезатором мови: “*a помножити на ікс піднести до степеня 3 плюс бе*”.

Розроблені програмно-алгоритмічні засоби озвучення математичних формул українською мовою [12 – 13] дали можливість озвучувати україномовні технічні тексти за допомогою синтезатора мови, наповнювати DAISY книги технічним контентом і перетворювати математичні формули на текстовий опис.

Розроблені та удосконалені методи (класифікації, дерев рішень, трансформації синтаксичного дерева, оптимізації, адаптації) в сукупності є основою розробленої прикладної програмної системи опрацювання україномовних технічних текстів для людей з вадами зору.

Розроблена у процесі дослідження прикладна програмна система озвучення математичних формул українською мовою з використанням методів перетворення формул з різних форматів на мову MathML містить чотири основні етапи опрацювання: сканування формули, розпізнавання та перетворення формули на мову MathML, формування тексту для озвучення, озвучення формули або збереження її в аудіоформаті WAV.

Етап 1. Сканування формули

На цьому етапі сканують формулу з відповідного інформаційного джерела (газета, книга, документ, зображення тощо). Якщо ж початкову формулу представлено засобами мови MathML, то потрібно перейти відразу до третього етапу. Було проведено чотири групи експериментів із перетворення математичних формул, наведених у різних документах з відповідними розширеннями DOC, HTML, PDF, MathType і TeX. Найкращі результати дала група експериментів 1 та 4, а в групі 2 та 3 в результаті з'явилося багато помилок, що зумовлено специфічністю OCR програми, використаної для розпізнавання формул.

Етап 2. Розпізнавання та перетворення формули на мову MathML

Наступним етапом є розпізнавання відсканованої формули з подальшим поданням її мовою MathML. На виході отримуємо файл із розширенням *.MML або текстовий файл, у якому записано формулу. Для розпізнавання відсканованої формули з графічного зображення потрібно скористатись засобами програми Infty, яка дає можливість перекласти формулу мовою MathML або HTML. Процес розпізнавання складається з чотирьох фаз: аналізу макета сторінки, розпізнавання формул і тексту, структурного аналізу математичних виразів і ручної корекції (рис. 8).

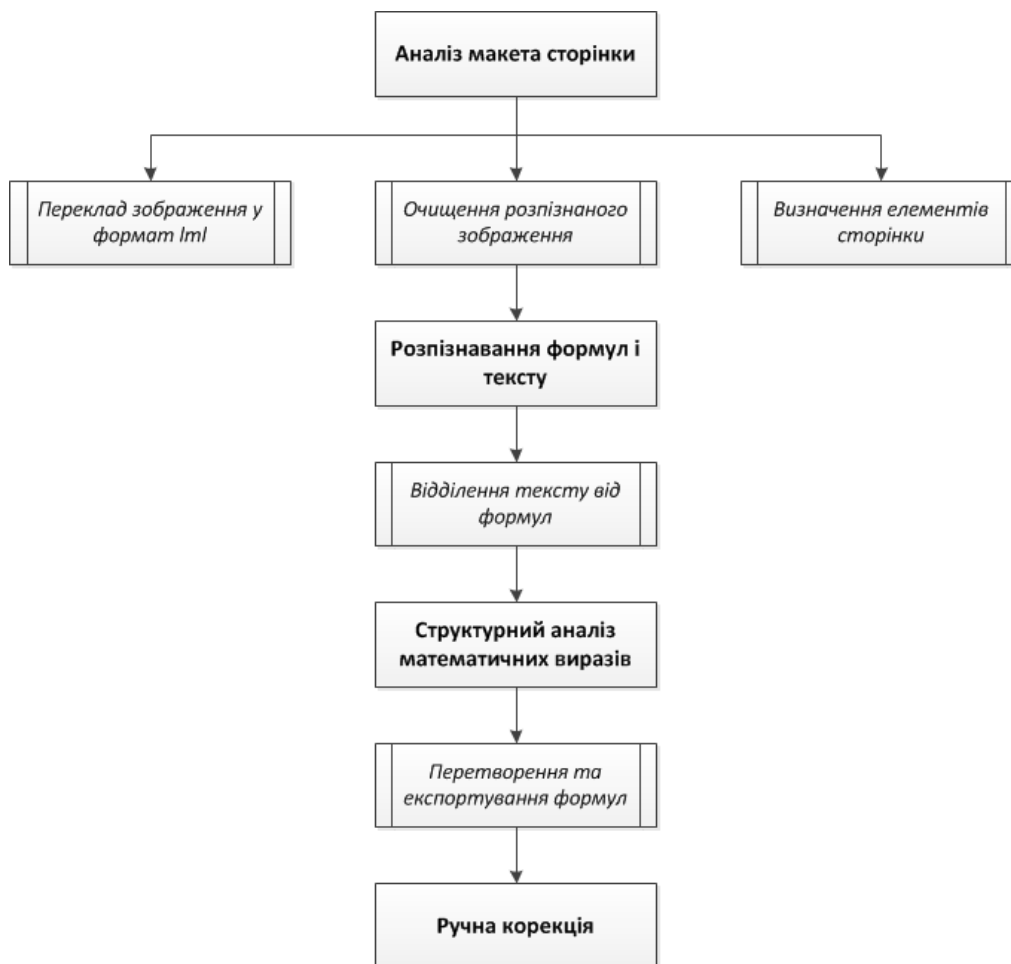


Рис. 8. Процес розпізнавання контенту засобами програми Infty

Аналіз макета сторінки полягає у перекладі зображення у внутрішній цифровий формат LML на базі XML, очищенні його від “цифрового сміття” і визначення складових елементів сторінки – таблиць, малюнків, текстових блоків. На етапі розпізнавання відбувається відділення тексту від математичних формул. Структурна фаза зводиться до аналізу математичних формул і подання їх у деякому внутрішньому форматі, придатному для відображення на екрані та експорту в зовнішній файл. Варто зазначити, що головною функцією InfyReader є розпізнавання формул, проте він також обробляє звичайний текст і в результаті створює цілісний документ, який максимально відповідає оригіналу. Ручна корекція дає змогу виправити помилки розпізнавання і додати нові дані. Як і в більшості OCR систем, у цьому режимі передбачено узгоджене прокручування вихідного зображення і розпізнаного тексту.

Етап 3. Формування тексту для озвучення

На етапі 3, за допомогою розроблених правил перетворення математичної формули, виконують розбір формули, записаної у текстовому документі мовою математичної розмітки MathML, на ідентифікатори, числа та оператори для подальшого озвучення.

Етап 4. Озвучення формули або збереження в аудіоформаті WAV

На цьому етапі підключають синтезатор мови, у якому використовується український голос. Після виконання всіх етапів можна прослухати формулу за допомогою синтезатора мови або зберегти її на диск в аудіофайлі формату *.WAV. Отриманий аудіофайл може використати незрячий користувач для прослуховування або для створення DAISY книги.

Наприклад, отримано формулу $x^3 = y + \sqrt{z}$ і збережено її мовою MathML у текстовий файл:

```
<mrow>
  <msup>
    <mi>x</mi>
    <mn>3</mn>
  </msup>
  <mo>=</mo><mi>y</mi><mo>+</mo>
  <msqrt>
    <mi>z</mi>
  </msqrt>
</mrow>
```

Виконавши програму, синтезатор озвучить формулу: “ікс піднести до степеня три дорівнює ігрек плюс корінь квадратний із зет” або збереже її опис у відповідному аудіофайлі.

Для озвучення сформованого текстового файла математичної формули використано синтезатор мови “український голос UkrVox – Igor”. Цим голосом можна озвучувати українські, англійські та російські тексти. “Український голос UkrVox – Igor” має сильну лінгвістичну базу, великий словник (кілька десятків тисяч слів), підтримує словотворення та морфологічний аналіз текстів [14].

Засоби перетворення математичних формул, записаних у різних форматах, та програму MathPlay покладено в основу прикладної програмної системи опрацювання україномовних технічних текстів (рис. 9) та забезпечують надійне і швидке розв’язання групи задач, таких як перетворення математичних формул, наявних у лінійному тексті, на мову MathML, розбір математичних формул відповідно до фонетичних і граматичних особливостей української мови, автоматичне створення аудіофайлів з україномовним контентом тощо.

Прикладна програмна система опрацювання україномовних технічних текстів

Для автоматизації процесу створення DAISY книг українською мовою розроблено прикладну програмну систему опрацювання україномовних технічних текстів для людей з вадами зору. В основу прикладної системи покладено модульну структуру, що дає змогу реалізовувати її у вигляді окремих функціональних модулів. Кожен модуль має закінчену функціональність, працюючи з певним набором вхідних параметрів і вихідних даних.

Прикладна програмна система складається із таких компонентів: драйвери спеціального обладнання, базове програмне забезпечення та спеціальне програмне забезпечення. На рис. 10, у блоці “Спеціальне програмне забезпечення”, виділено штрихпунктиром модулі, які розроблено у ході виконання дослідження самостійно для досягнення поставленої мети.

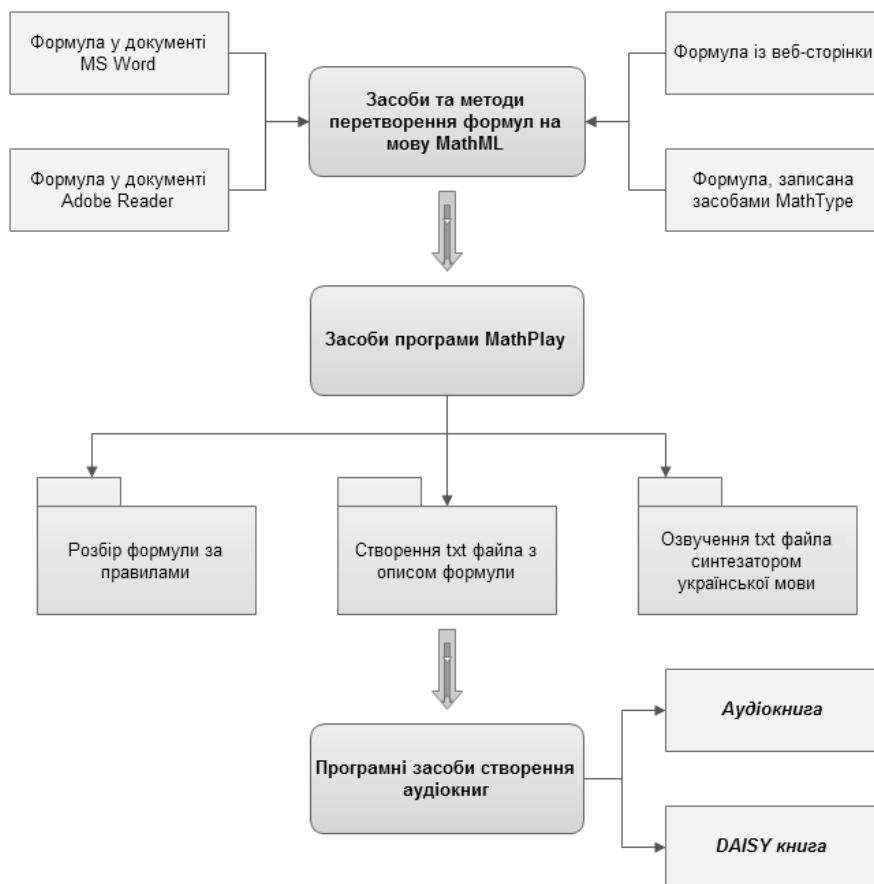


Рис. 9. Процес озвучення математичних формул українською мовою



Рис. 10. Структурна схема прикладної системи опрацювання україномовних технічних текстів для людей з вадами зору

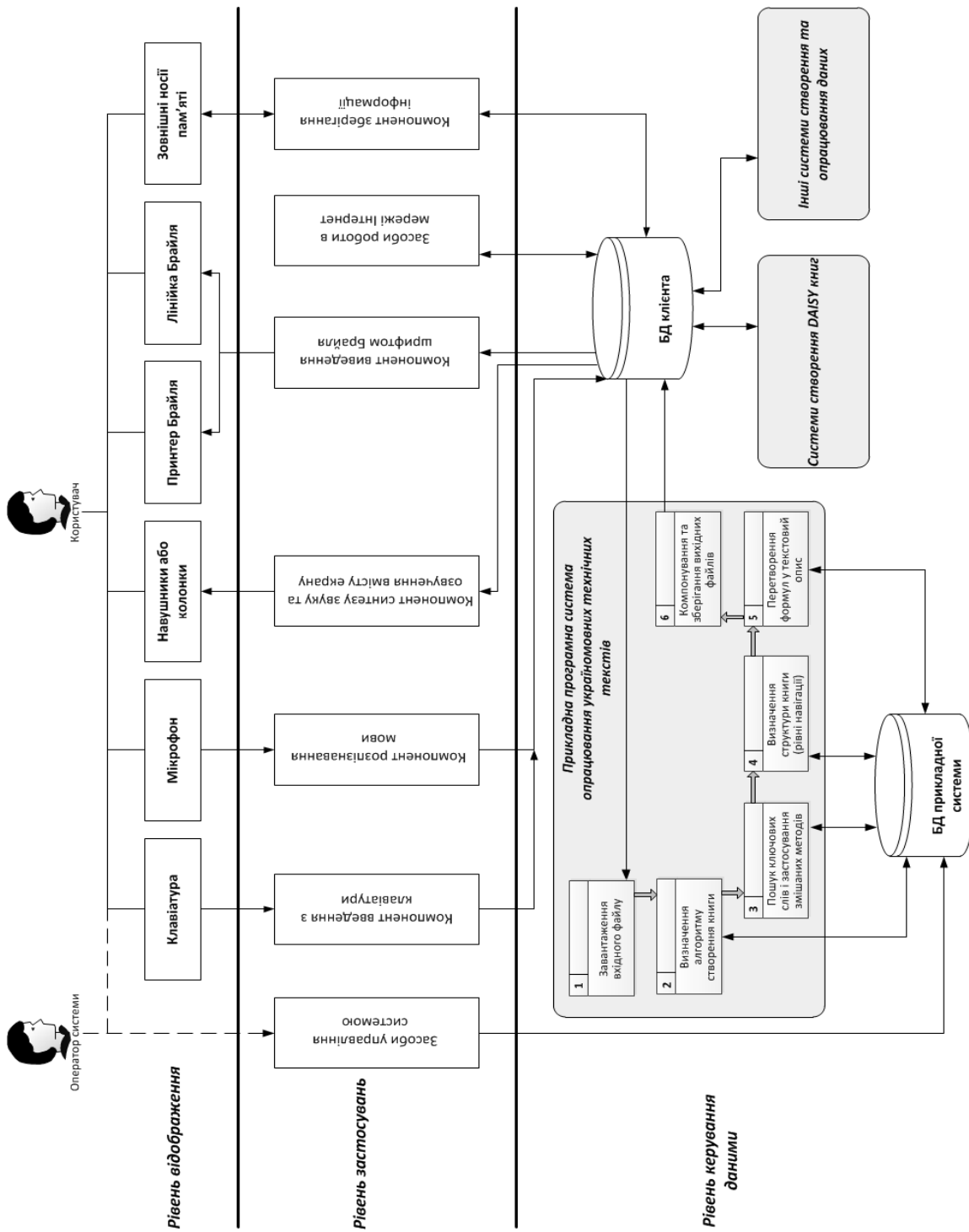


Рис. 11. Архітектура прикладної програмної системи опрацювання українськомовних технічних текстів

Прикладна програмна система складається із трьох рівнів: відображення, застосування та керування даними (рис. 11). Рівень відображення відповідає за взаємодію незрячого користувача з комп'ютером, на якому встановлено прикладну програмну систему. Рівень застосувань складається із програмних компонентів, які забезпечують розв'язання задач введення, виведення та опрацювання даних на комп'ютері. Прикладна програмна система опрацювання україномовних технічних текстів та інші схожі системи, разом з базами даних, належать до рівня керування даними.

Висновки та перспективи подальших наукових розвідок

Автор розв'язав актуальну наукову задачу комп'ютерного опрацювання технічних текстів та подання даних у аудіоформаті для людей з вадами зору. Для цього розроблено математичне та програмне забезпечення, яке дало змогу створити прикладну програмну систему опрацювання україномовних технічних текстів для людей з вадами зору.

На базі кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету “Львівська політехніка” облаштовано програмно-алгоритмічний комплекс автоматизованого робочого місця (АРМ) незрячого користувача, на якому встановлено розроблену прикладну програмну систему та проведено експериментальні дослідження щодо її функціональності. Загальна схема облаштованого АРМ незрячого користувача складається із базових та спеціальних технічних засобів, інформаційного та програмного забезпечення, різних організаційних заходів. АРМ дає змогу незрячому працювати за комп'ютером, зокрема, самостійно створювати текстовий контент та аудіокниги, працювати в мережі Інтернет та організувати власні бібліотеки, розробляти ПЗ та здобувати освіту шляхом дистанційного навчання.

Крім роботи на комп'ютері, особа з частковою або повною втратою зору може отримувати інформацію з додаткових технічних пристроїв, наприклад, мобільного телефона, телевізора, аудіопрогравача та збільшувальних пристроїв тощо. АРМ дає змогу синхронізувати ці пристрої з комп'ютером для зручної та швидкої роботи.

Розроблене АРМ успішно впроваджено у спеціалізованому навчальному кабінеті за назвою “Ресурсний центр освітніх інформаційних технологій для осіб з особливими потребами” (на базі кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету “Львівська політехніка”). АРМ активно використовується для навчання незрячих осіб і одержало безліч схвальних відгуків.

На основі розроблених методів та прикладної програмної системи опрацювання україномовних технічних текстів для людей з вадами зору виконано п'ять груп експериментів із перетворення математичних формул, представлених у різних форматах, на мову математичної розмітки MathML, та їх озвучення і сприйняття на слух:

1. з формату текстового документа Microsoft Word;
2. з формату Adobe Reader, *.PDF;
3. з веб-сторінки *.HTML;
4. із засобів MathType;
5. п'ята група експериментів полягала в озвученні перетворених на мову MathML формул та їх відтворенні респондентами.

Для проведення експериментів із перетворення формул на мову MathML взято довільний набір математичних формул різної складності. Тестова база для перших чотирьох груп експериментів містила разом 100 формул (по 25 формул на кожен групу експериментів), з яких 20 – прості арифметичні вирази, 20 – тригонометричні вирази, 20 – інтеграли та похідні, 20 – формули лінійної алгебри та 20 – ряди, границі тощо.

У результаті виконання експериментів над простими формулами (250 формул), п'ять респондентів зробили дві помилки під час відтворення, що становить 0,8 % від загальної кількості записів. За розрахунками експериментів над формулами середньої складності, респонденти зробили одинадцять помилок при тій же кількості формул, що становить 4,4 % від загальної кількості записів. Третя частина експериментів над складними формулами дала такий результат: сорок чотири помилки, або 17,2 % від загальної кількості записів.

Отже, результат розробленої програми озвучення математичних формул та символів “MathPlay” загалом добрий – програма правильно відтворила 693 із 750 записів (92,5 %) для різних за складністю формул. Під час виконання наукового дослідження один із основних акцентів було зроблено на створенні інформаційної бази аудіоматеріалів та навчально-методичних засобів для дистанційного навчання незрячих осіб, школярів та студентів. Проект із створення інформаційної бази реалізували за підтримки Шведського інституту співробітництва (м. Стокгольм) колективи Свефі-Академії (м. Хапаранда) та Львівського навчально-виховного комплексу “Школа-гімназія “Сихівська”. У межах проекту проведено тренінги з навчання незрячих людей основам роботи з комп’ютером та оволодіння найпоширенішими техніками роботи в інтернет-середовищі.

У ході виконання науково-практичних досліджень, на основі опрацьованих методів і засобів, відповідно до стандарту DAISY/NISO, створено й передано у центр для незрячих дітей три підручники з основ інформаційних технологій, які є цифровим поданням матеріалів освітньої серії видавництва ВНУ “Професійне навчання” за профілем “ІТ для 12-річної школи”.

1. Лозицький О. А. Стандарти, структура та технологія створення книг, що “розмовляють” / О. А. Лозицький, В. В. Пасічник // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – Харків, 2010. – № 3/11 (45). – С. 10–18. 2. Лозицький О. А. Освоєння інформаційних технологій людьми з вадами зору / О. А. Лозицький, О. В. Пасічник // *Проблеми освіти : наук. зб.* – Київ, 2009. – Вип. 60. – С. 113–119. 3. Кунанець Н. Е. Організація освітніх та інформаційних процесів для людей з вадами зору із застосуванням спеціальних комп’ютерних технологій / Кунанець Н. Е., Лозицький О. А., Пасічник В. В. // *Матер. 3-ї наук.-практ. конф. “Інноваційні комп’ютерні технології у вищій школі”*. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2011. – С. 156–158. 4. Кунанець Н. Е. Формування інформаційних ресурсів бібліотек для людей з особливими потребами / Н. Е. Кунанець, О. А. Лозицький // *Матер. всеукр. наук.-теор. конф. молодих учених “Культура та інформаційне суспільство XXI століття”*. – Х. : ХДАК, 2012. – С. 252–252. 5. Синьова Є. П. Рельєфно-крапкове письмо сліпих. Шрифт Л. Брайля : навч. посібник для спец. “Дефектологія” [Текст] / Є. П. Синьова ; М-во освіти і науки України, НПУ ім. М. П. Драгоманова. – Київ : НПУ, 2003. – 108 с. 6. Automating Tactile Graphics Translation [Текст] / R. E. Ladner, M. Y. Ivory, R. Rao, S. Burgstahler, D. Comden, S. Hahn, M. Renzelmann, S. Krisnandi, M. Ramasamy, B. Slabosky, A. Martin. A. Lacenski, S. Olsen, D. Croce. // *Proc. of 7th Int. ACM Sigaccess Conf. on Computers and Accessibility, January 2005, New York.* – New York, 2005. – S. 50–57. 7. Automated tactile graphics translation: in the field [Текст] / Jayant C., Renzelmann M., Wen D., Krisnandi S., Ladner R., Comden D.: // *Proc. of 9th Int. ACM Sigaccess Conf. on Computers and Accessibility, January 2007, New York.* – New York, 2007. – S. 75–82. 8. Slabosky Beverly Got Braille? A Brief Introduction to My Research Assistantship with the Tactile Graphics Project [Електронний ресурс] / Beverly Slabosky // *The Silver Fish, Newsletter of the Association of Library and Information Science Students (ALISS)*. – 2004. – 7(1) January, (Vol. 6). – Режим доступу: <http://tactilegraphics.cs.washington.edu/pubs/ischool04/ischool04.pdf>. 9. Myongsu Park. Compare Music File Formats [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.edb.utexas.edu/minliu/multimedia/PDFfolder/CompareMusic.pdf>. 10. Бешелев С. Д. Математико-статистические методы экспертных оценок [Текст] / Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. – М.: Статистика, 1980. – 263 с. 11. Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании [Текст] / Добров Г. М., Ершов Ю. В., Левин Е. И., Смирнов Л. П. – К.: Наукова думка, 1974. – 163 с. 12. Давидов М. В. Метод та інформаційна технологія озвучення математичних формул українською мовою / М. В. Давидов, О. А. Лозицький, В. В. Пасічник // *Штучний інтелект : наук.-теор. журн.* – Донецьк, 2013. – № 1 (59). – С. 233–245. 13. Давидов М. В. Метод озвучення математичних формул та символів українською мовою / М. В. Давидов, О. А. Лозицький, Ю. В. Нікольський // *Наукові праці МДГУ ім. Петра Могили. Серія: Комп’ютерні технології.* – Вип. 201, том 213. – Миколаїв, 2013. – С. 50–56. 14. MyTTS. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mytts.forum2x2.ru/t124-topic>.