

Н. Е. Кунанець, О. А. Лозицький, В. В. Пасічник
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра інформаційних систем і мереж

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЗВУЧУВАННЯ УКРАЇНСЬКОЮ МОВОЮ МАТЕМАТИЧНИХ ФОРМУЛ ДЛЯ ОСІБ З ВАДАМИ ЗОРУ

© Кунанець Н. Е., Лозицький О. А., Пасічник В. В., 2016

Описано розроблене математичне та програмне забезпечення прикладної системи опрацювання україномовних технічних текстів для людей з вадами зору. Досліджено проблему автоматичного озвучення математичних формул та символів. Розроблено прикладну програмну систему опрацювання україномовних технічних текстів, яка складається з набору методів обробки і перетворення даних для озвучення українською мовою математичних формул та символів, записаних у різних форматах.

Ключові слова: обробка україномовного технічного тексту, математична формула, вада зору, синтаксичне дерево, озвучення, DAISY, MathML.

This paper is dedicated to development of 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.

Key words: Ukrainian technical text processing, mathematical formula, visual impairment, syntax tree, sounding, DAISY, MathML

Вступ

Розвиток новітніх інформаційних та соціокомунікаційних технологій активно трансформують підходи до процесів поширення інформації. Інформаційна насиченість суспільного загалу, необхідність здобуття нових компетентностей його членами сприяють переосмисленню фундаментальних засад чинної системи подання інформації та її адаптації до сучасних вимог.

Користувачі з особливими потребами щоденно стикаються з труднощами в реалізації своїх прав щодо отримання доступу до інформації, оскільки не завжди мають змогу вчасно і в зручному форматі отримати необхідні інформаційні ресурси.

Особливої актуальності ця парадигма набуває в контексті навчання та інформаційного забезпечення людей з особливими потребами, для яких необхідні принципово нові технології доступу до інформаційних ресурсів, спеціалізовані автоматизовані робочі місця, облаштовані адаптованими пристроями введення–виведення, сучасними комп'ютерами, на яких зінстальоване спеціальне програмне забезпечення.

Перелік наявних програмних і технічних засобів, що сприяють полегшенню процесу навчання людей з вадами зору, достатньо великий, проте подальший поступ у цьому напрямі неможливий без адаптації комп'ютерного подання навчально-методичного матеріалу до потреб цієї категорії користувачів.

Завдяки різноманітним міжнародним грантовим науковим та науково-технічним програмам значно розширився перелік назв навчальних та художніх книг українською мовою для користувачів з вадами зору, що подані шрифтом Брайля або в аудіоформатах.

Стан дослідження проблеми

У працях зарубіжних дослідників, зокрема, із розвинених країн Європи та США, досліджуються питання автоматизованого подання текстів, адаптованих для сприйняття незрячими. Р. Е. Ладнер, М. І. Івори, Р. Рао, С. Бургсталер, Д. Комден, С. Ган, М. Ренцелманн, С. Кріснанді, М. Рамасами, Б. Слабоський, А. Мартін, А. Лаценські, С. Олзен, Д. Кроце [1] розробили технологію подання шрифтів Брайля як графічних об'єктів. Аналогічні дослідження проводять й інші групи науковців, серед яких Ц. Жаянт, Д. Вен, Д. Комден [2] та Н. Амікк, Я. Коркоран [3]. У низці публікацій досліджуються підходи до реалізації та розроблення якісних синтезаторів англійської мови [4], програм читання англійської інформації з комп'ютерного екрана [5], програмного забезпечення для озвучення англійських технічних текстів [6], обладнання комп'ютеризованих робочих місць користувачів з вадами зору тощо. Ці технології практично неможливо напряму перенести в українське мовне середовище, оскільки необхідне обов'язкове врахування специфіки української мови, що неминуче пов'язано зі складністю передавання фонем і особливостями фонетичного звучання, своєрідністю граматики та правил побудови речень тощо. Окремі групи українських науковців аналізують особливості створення синтезатора української мови, що давав би змогу якісно синтезувати людський голос та відтворювати його з персональними акустичними, фонетичними й інтонаційними особливостями [7]. У дисертації Т. Людовик [8] проаналізовано методи, що сприяють створенню пристроїв, які забезпечують розбірливе і природне звучання синтезованої української мови.

Науковці провели експериментальні дослідження відомих засобів озвучення математичних формул англійською мовою [9]. Дослідження цих засобів показало, що вони непридатні для озвучення формул українською мовою та не містять засобів локалізації та адаптації до інших мов. Процес озвучення формул українською мовою залишався нереалізованим, що створювало перешкоди для озвучення контенту, який містить формули, для україномовних користувачів з вадами зору.

Закордонні дослідження щодо озвучення математичних формул та виразів зосереджені переважно на англійському озвученні [10].

Мета статті – подати основні відомості щодо функціональності прикладної програмної системи, яка забезпечує перетворення технічного та природничого інформаційного контенту українською мовою на зручний формат для користувачів з вадами зору.

Попередньо проаналізовано відомі методи та засоби надання доступу незрячим користувачам до інформаційного контенту, що містить формули. Аналіз засвідчив, що їх використання не забезпечує якісного вирішення проблеми доступності такого типу інформації для україномовного незрячого користувача.

У ході дослідження особливостей технологічних процесів опрацювання, перетворення та озвучення текстів технічного та природничого спрямування, у яких є формули, математичні, фізичні та інші символічні позначки, діаграми, графіки тощо, для зручного сприйняття їх незрячими користувачами, розроблено інформаційну технологію озвучення формул, поданих у різних форматах. Вона ґрунтується на наборі правил, що забезпечують опрацювання математичної формули в автоматизованому режимі, незалежно від формату її подання, та озвучення її за допомогою україномовного синтезатора.

Ускладнюється завдання через наявність у текстових навчальних документах записів формул у достатньо великій кількості різноманітних електронних форматів та за допомогою різноманітних програмно-алгоритмічних засобів. Зокрема, для подання математичних виразів використовуються інструментальні засоби TeX, MathType Equation, OpenOffice Math, MathML та інші, а також растрові або векторні зображення. Неуніфікованість підходів до подання формул стала наслідком некоординованого розвитку систем їх редагування, оскільки стандарт, який зобов'язав подавати формули за допомогою певних математичних редакторів, створено та запроваджено зі значним запізненням.

На думку фахівців-дослідників і практиків, для користувачів з вадами зору найзручнішим є використання інформаційного контенту, поданого у DAISY [11] форматі. Саме у цьому форматі найчастіше створюється сучасна навчальна література, яку використовують незрячі школярі та студенти.

Для автоматизації процесу подання формул під час створення книг у DAISY форматі українською мовою розроблено прикладну програмну систему, що отримала назву MathPlay [12]. Система забезпечує опрацювання україномовних текстів, що містять формули, та їх адаптацію для сприйняття користувачами з вадами зору.

Перетворення формул, поданих у різних редакторах, у вербальне подання українською мовою, здійснюється за розробленою системою правил, яка містить правила, що регламентують запис формульних символів, оператори, загальні та уточнені вирази.

Прикладна програмна система складається з модулів, що реалізують її функціональність у вигляді окремих компонентів, таких як:

- драйвери спеціального обладнання;
- базове програмне забезпечення;
- спеціальне програмне забезпечення.

На рис. 1 у блоці “Спеціальне програмне забезпечення” штрихпунктиром виділено модулі, які розроблено для досягнення поставленої мети:

- опрацювання файлів різних форматів;
- пошуку ключових слів у тексті;
- накладання навігації на книгу;
- перетворення формул на текстовий опис;
- компонування та зберігання контенту.



Рис. 1. Структурна схема прикладної системи опрацювання україномовних технічних текстів для людей з вадами зору

Кожен модуль має обмежену функціональність і працює з відповідним набором вхідних параметрів, формуючи вихідні дані, подані за певною структурою. Модуль опрацювання файлів різних форматів забезпечує користувачеві системи перетворення формату вхідної книги відповідно до його потреб. Модуль пошуку ключових слів у тексті забезпечує пошук та маркування тексту за структурними ознаками книги, а також пошук формул, описів рисунків та графіків тощо.

Залежно від розробленої класифікації типів книг та електронних документів, модуль накладання навігації на книгу вибирає метод перетворення вхідного документа відповідно до навігаційної схеми і розподіляє його на окремі частини.

Модуль перетворення формул на текстовий опис забезпечує вербальне подання українською мовою математичних формул та спеціальних символів. Для цього використовують згадані вище правила подання такої інформації.

Модуль компонування та зберігання контенту відповідає за ефективне та цілісне збереження структурних частин тексту книги в окремих файлах, а також озвучення їх за допомогою українськомовного голосового синтезатора.

Інтерфейси прикладної програмної системи опрацювання українськомовних технічних та природничих текстів розраховані на некваліфікованого користувача і забезпечують доступність процесу створення таких книг для незрячих та слабкозорих. Вони оснащені широким спектром різнотипових меню, що забезпечують можливість подання відомостей користувачеві у формі голосового озвучення інформації, поданої на екрані монітора, або виведення її на комп'ютерну лінійку Брайля (брайлівський дисплей).

Архітектура прикладної програмної системи є трирівневою: рівень відображення, рівень застосунків та рівень керування даними (рис. 2).

Рівень відображення відповідає за взаємодію незрячого користувача з комп'ютером, на якому встановлено прикладну програмну систему. Користувачеві надається можливість прямого безпосереднього доступу до апаратних засобів введення та виведення інформації.

Рівень застосунків складається із програмних компонентів, призначених для вирішення завдань введення, виведення та опрацювання даних. Функціональні характеристики програмних компонентів системи такі:

- компонента, що забезпечує введення інформації з клавіатури, надає користувачеві доступ до різних текстових редакторів та спеціального ПЗ (MS Word, Блокнот, форми інтернет-сторінок тощо), що забезпечує можливість набору відомостей з допомогою клавіатури;
- компонента, що забезпечує процеси розпізнавання мови, надає користувачеві змогу керувати окремими функціями комп'ютера, здійснювати пошук, створення та редагування електронного документа без використання клавіатури (Dragon NaturallySpeaking, MacSpeech, SRC, Voice Recognition Systems, Highbridge Communications, Microsoft Tellme, VoiceNet VRS 2000);
- компонента, що забезпечує синтез звуку та озвучення інформації, поданої на моніторі, відповідає за під'єднання синтезатора мови та системи читання з монітора і надає можливість незрячому користувачеві прослуховувати той чи інший фрагмент тексту (JAWS, NVDA, VoiceOver, ChromeVox, Spoken Web, ClickHear тощо). Для прослуховування текстів можна використовувати і аудіоколонки, і навушники;
- у компоненту виведення інформації шрифтом Брайля входять драйвери для під'єднання брайлівських лінійок та принтерів, а також програмне забезпечення для конвертування тексту в крапковий шрифт Брайля (WinBraille, Duxbury Braille Translator, MegaDots);
- компонента зберігання інформації використовує стандартні засоби операційної системи і відповідає за збереження даних на ПК або на зовнішніх носіях;
- засоби роботи в мережі Інтернет – веб-браузери, плагіни та програмні засоби, які надають можливість користувачеві працювати у веб-середовищі, організовувати віртуальні бібліотеки та фонотеки, завантажувати необхідний контент, працювати з електронною поштою тощо;
- засоби управління системою відповідають за доступ адміністратора (оператора) до системи, її налаштування, доопрацювання тощо. До засобів управління належать системи захисту, інтерфейси, що забезпечують процеси написання програмного забезпечення, ведення баз даних тощо.

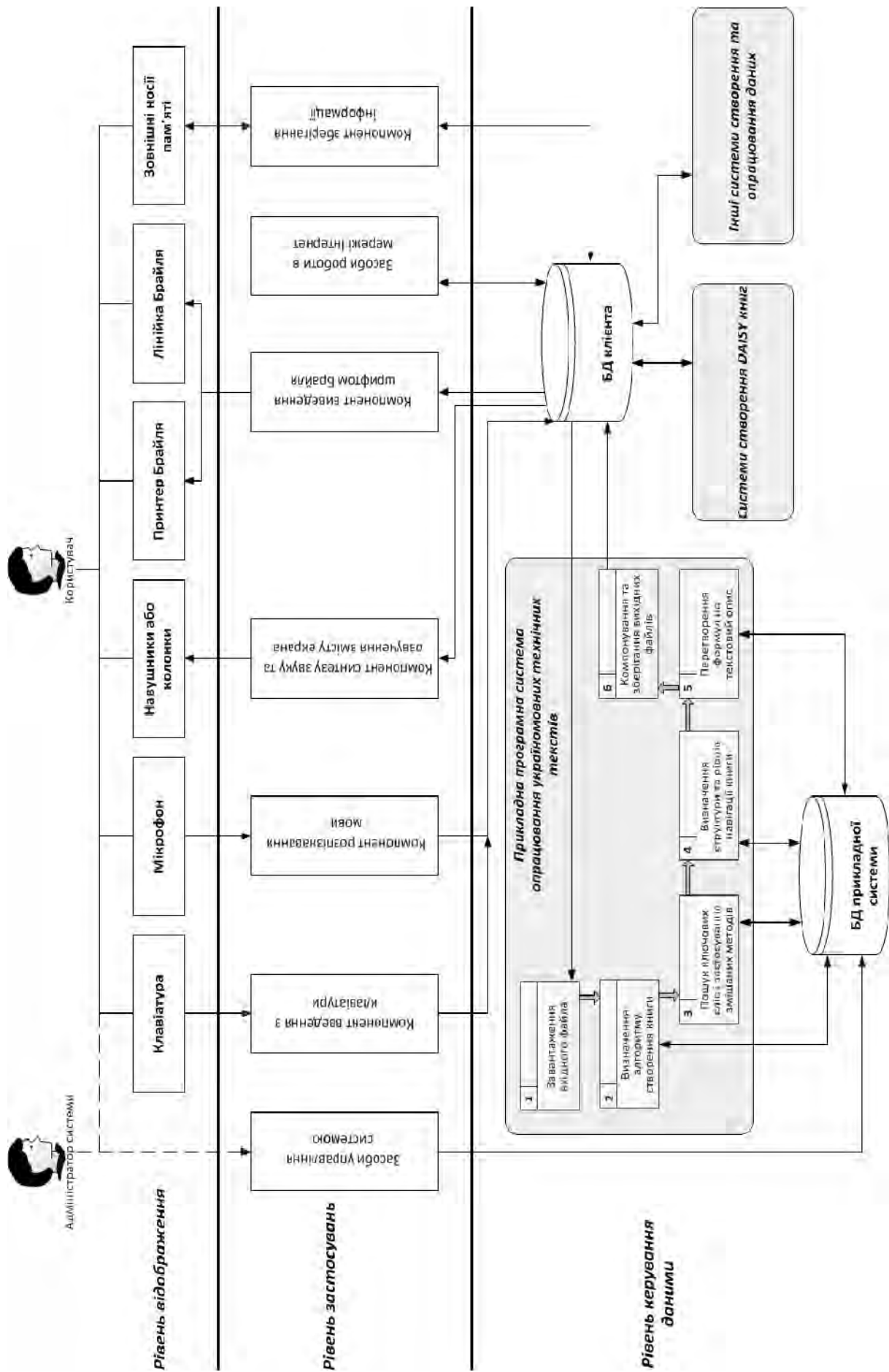


Рис. 2. Архітектура прикладної системи опрацювання українських технічних текстів

Наведемо базовий алгоритм функціонування прикладної програмної системи:

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

Крок 2: визначення алгоритму створення книги (застосовано методи перетворення форматів файлів).

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

Крок 4: визначення структури документа та накладання навігації (застосовано метод пошуку за ключовими словами та метод дерев рішень).

Крок 5: пошук математичних формул у тексті книги (застосовано удосконалений метод трансформації синтаксичного дерева та метод пошуку за ключовими словами).

Крок 6: виділення та озвучення основних частин документа (застосовано метод синтезу звуку).

Крок 7: компонування сформованих файлів книги.

Для виконання першого кроку в системі сформовано модуль, який надає можливість користувачеві завантажувати файл, що містить книгу в електронній формі.

На другому кроці використовується сформована база знань, у якій описано основні алгоритми перетворення форматів вхідних файлів на формат системи HTML/ XHTML. Розроблений модуль перевіряє формат вхідного файла і виводить користувачеві повідомлення з подальшими інструкціями щодо його конвертування.

Для реалізації третього кроку розроблено модуль, який здійснює пошук ключових слів у HTML/ XHTML файлі за маскою пошуку, відповідно до сформованої бази ключових слів, та маркує потрібні фрагменти тексту, які надалі озвучують голосом іншого диктора.

Четвертий крок передбачає використання програмного модуля, який здійснює пошук у вхідному файлі структурних ознак тексту і визначає, на скільки навігаційних рівнів доцільно поділити книгу залежно від розробленої класифікації книг та побудованого дерева рішень.

Для реалізації п'ятого кроку базового алгоритму розроблено програмний модуль, який здійснює пошук математичних формул у документі, відповідно до маски пошуку, наприклад, тег "$*$". Далі відбувається перетворення математичної формули, записаної мовою MathML, на текстовий опис українською мовою, з урахуванням розроблених правил перетворення. Цей процес стає трудомісткішим, якщо у документі є формули, подані у графічних форматах. Система налаштовується так, щоб знайдені математичні формули озвучувались україномовним синтезатором і зберігались в аудіоформатах MP3 або WAV.

Для виконання шостого кроку базового алгоритму розроблено програмний модуль, який відповідає за зберігання частин вхідного документа у форматах TXT, RTF, DOC, а також під'єднання бібліотеки Windows API для використання синтезатора мови та озвучення тексту.

На сьомому кроці використовується програмне забезпечення, призначене для побудови DAISY книг, відповідно до потреб користувача. Для побудови книги, що "розмовляє" українською мовою, необхідно імпортувати сформовані аудіофайли (у форматах MP3 або WAV) у стандартну програму створення DAISY книг.

На рис. 3 подано блок-схему алгоритму формування контенту аудіокниги у DAISY форматі українською мовою з використанням прикладної програмної системи.

На вхід системи надходить файл, поданий у текстовому або графічному форматі, ініціалізується вхідний формат файла, визначається оптимальний метод створення книги. Якщо формат вхідного документа відмінний від форматів HTML/ XHTML, користувачу видається повідомлення про це.

Наприклад, якщо в системі завантажено книгу в форматі текстового редактора MS Word, то користувач отримує повідомлення про те, які кроки йому необхідно виконати для перетворення вхідного файла у формат HTML/ XHTML:

*"Формат завантаженого Вами файла *.DOC відрізняється від формату XHTML/HTML, тому його необхідно конвертувати за такими кроками:*

- 1. Відкрити Ваш документ засобами MS Word або MS Office.*
- 2. Зайти в меню: Файл – Зберегти як.*
- 3. У рядку Тип файла потрібно вибрати Веб-сторінка.*
- 4. Зберегти файл у новому форматі.*
- 5. Завантажити отриманий файл у систему*

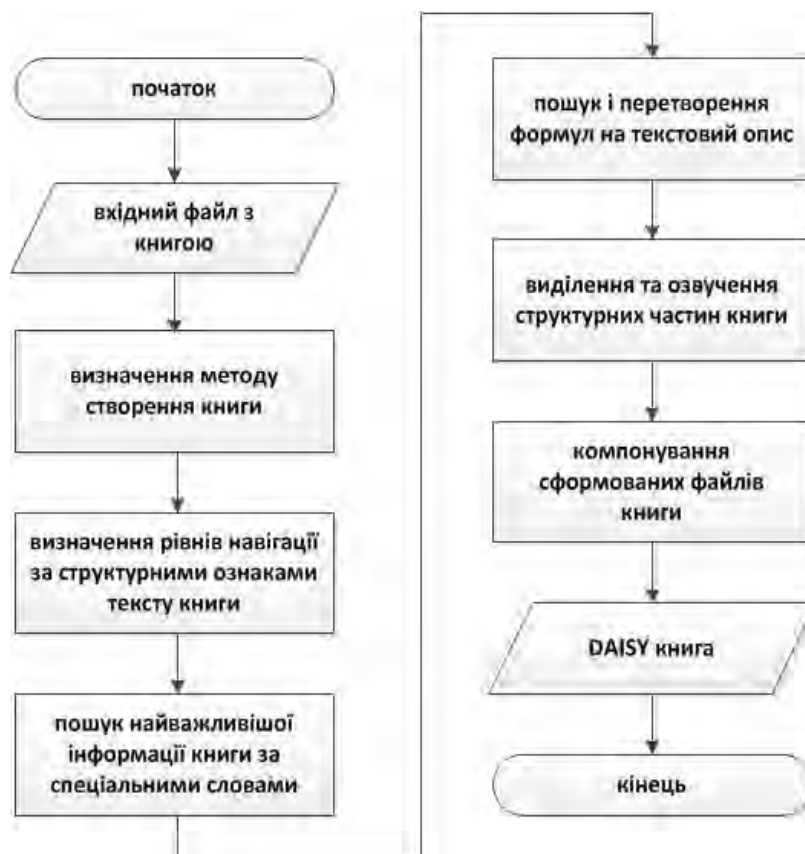


Рис. 3. Блок-схема алгоритму створення DAISY книги

У системі прописано варіанти конвертації найпоширеніших форматів електронних документів, зокрема, TXT, DOC, RTF, HTML, PDF, DJVU.

Окрім цього, система містить базу знань з описом покрокових перетворень математичних формул у різних форматах (MathType, TeX, LaTeX, JPG, PNG тощо) для подання їх мовою математичної розмітки MathML.

Після завантаження файла з текстом книги система здійснює пошук ключових слів, відповідно до маски пошуку, і на основі результату пошуку визначає, на скільки навігаційних рівнів доцільно було б поділити книгу. Наприклад, якщо у тексті знайдено ключові слова “Розділ”, “Підрозділ”, “Зміст” і “Список літератури”, система рекомендує поділити книгу на чотири розділи. В результаті структурні частини тексту маркуються для подальшого розподілу та зберігання в окремих текстових файлах. Це забезпечує коректне озвучення окремих частин тексту.

У системі передбачено можливість подання рекомендацій користувачеві щодо знаходження у тексті книги найважливішої інформації. Якщо необхідно, то система здійснює пошук ключових слів, відповідно до маски пошуку (найважливішої інформації у книзі), і маркує її для подальшого запису в окремий файл, який буде озвучено голосом іншого диктора у повільнішому темпі.

Пошук формул у тексті здійснюється за допомогою маски пошуку за ключовими словами. Зокрема, математичні формули в документі HTML/XHTML починаються із тегу $і закінчуються тегом$. У результаті всі теги, розміщені між ними, відповідно до методу трансформації синтаксичного дерева і розроблених правил, перетворюються на текстовий опис українською мовою і записуються у текст документа.

Наприклад, у тексті книги знайдено формулу $x^3 = y + \sqrt{z}$ і збережено її мовою MathML у текстовому файлі:

```

<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” та збереже її опис у відповідному аудіофайлі.

Далі відбувається запис окремих структурних частин книги, математичних формул, а також найважливішої інформації в окремі текстові файли, що окремо озвучуються за допомогою синтезатора української мови.

За необхідності отримані аудіофайли редагуються та нормалізуються за допомогою аудіоредактора. Компонування результируючих аудіофайлів і завершальна побудова книги, що “розмовляє” українською мовою, відбувається за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, зокрема такого, як застосунок PRS Pro.

Для апробації роботи системи було вибрано 750 різних формул, які рівномірно розділено на три групи. Кожна група містила 250 формул. Згідно з дослідженнями психологів, людина одночасно може утримувати у короткочасній пам’яті 7 ± 2 елементи (від 5 до 9 об’єктів). Саме тому групи формул формувалися відповідно до складності їх сприйняття, критерієм розподілу була кількість операндів, чисел та математичних операцій.

У першу групу виділено прості формули, які задовольняли хоча б одну з таких вимог:

- менше за 5 операндів (A, b, x, Z тощо);
- менше за 5 математичних операцій (+, =, *, / тощо);
- менше за 5 чисел (5, 16, 32, 12.5 тощо).

Наприклад:

$$\begin{aligned}
 a + b &= x, \\
 25 - 15 &= 10, \\
 \frac{X}{2} &> 16, \\
 \frac{(a+b)^2}{c} &= 4,5, \\
 \sqrt{a+b} &= 6.
 \end{aligned}$$

У другу групу об’єднано формули середньої складності, які задовольняють хоча б одну з таких вимог:

- від 5 до 6 операндів;
- від 5 до 6 математичних операцій;
- від 5 до 6 чисел.

Наприклад:

$$\begin{aligned}
 \frac{(a-b) \cdot 5}{2+2} &= X, \\
 X &= \frac{\sqrt{y-4a}}{2a}, \\
 \log_x y + z &= 2ab, \\
 \frac{de^x}{dx} &= e^x, \\
 \int e^x dx &= e^x.
 \end{aligned}$$

У третю групу увійшли складні формули, які задовольняють хоча б одну з вимог:

- більше ніж 6 операндів;
- більше ніж 6 математичних операцій;
- більше ніж 6 чисел.

Наприклад:

$$\frac{1}{(-0)^2} = \frac{1}{+0} = +\infty,$$

$$(a+b)^2 = a^2 + 2ab + c^2,$$

$$P_1 = P(A) + P(B) - P(AB),$$

$$S = 2\pi RH + 2\pi R^2,$$

$$\cos \alpha = \pm \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}.$$

Суть експериментів полягала у коректному сприйнятті на слух озвученої математичної формули та записі її у блокноті під час прослуховування. Озвучення груп математичних формул відбувалося за допомогою прикладної програмної системи “MathPlay”.

У ході проведення експериментів з першою групою формул респонденти допустили дві помилки під час відтворення. Це становить 0,8 % від загальної кількості озвучених формул, виділених у першу групу.

Записуючи формули другої групи, респонденти зробили одинадцять помилок, тобто 4,4 % від загальної кількості озвучених формул цієї групи. В результаті експериментів із озвученням складних формул отримано такий результат: сорок чотири помилки, або 17,6 % від загальної кількості озвучених формул третьої групи.

Отже, розроблена програма озвучення математичних формул та символів “MathPlay” дала загалом добрий результат – програма правильно відтворила 693 із 750 різних за складністю формул, що становить 92,4 %.

Для подальшого вдосконалення засобів озвучення математичних формул українською мовою доцільно було б розробити якісний синтезатор української мови та вдосконалити методи, що забезпечують перетворення формул. Відтак планується вдосконалити правила озвучення формул із додаванням відмінків та уточнити правила озвучення великих формул.

Висновки

Розроблена прикладна програмна система “MathPlay” забезпечує коректне вербальне відтворення українською мовою формул, попередньо здійснюючи їх перетворення та подання мовою MathML.

Система ґрунтується на використанні запропонованої класифікації книг та електронних документів, сформованої з використанням методу дерева рішень. Це дало змогу автоматизувати процеси вибору рівнів навігації та структуризації частин тексту.

Прикладна програмна система забезпечує автоматизоване перетворення у DAISY формат інформаційного контенту, поданого українською мовою у книгах технічного та природничого спрямування, що містять формули та математичні вирази.

Результати проведених експериментів показали, що прикладна програмна система озвучення формул українською мовою дає змогу досягти якісного озвучення 92,4 % наявних у електронному документі формул різної складності.

1. *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. Licenski, 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.* 2. *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. 3. Amick Nancy *Guidelines for Design of Tactile Graphics* [Електронний ресурс] / Nancy Amick, Jane Corcoran // APH Educational Research. American Printing House for the Blind, 2004, Inc. – Режим доступу: <http://www.aph.org/edresearch/guides.htm>. 4. Hutchins J. *The evolution of machine translation systems* / W. John Hutchins // *Practical experience of machine translation: Proceedings of a conference, 5-6 November 1982, UK.* – London, 1982. – S. 21–37. 5. *The mathematics of statistical machine translation* [Текст] / Brown P. F., Pietra S. A. D., Pietra V. J. D., Mercer R. L. // *Computational Linguistics.* – 1993. – Vol.19(2). – S. 263–31. 6. *Synchronized Multimedia Integration Language (SMIL 2.0)* [Електронний ресурс] / Ayars J., Bulterman D., Cohen A., Day K., Hodge E., Hoschka P., Huche E., Jourdan M., Kim M., Kubota K., Lanphier R., Layaida N., Michel T., Newman D., van Ossenbruggen J., Rutledge L., Saccocio B., Schmitz P., Kate W. – Режим доступу: <http://www.w3.org/TR/2005/REC-SMIL2-20050107>. 7. Автоматичний озвучувач українських текстів на основі фонемно-трифонної моделі з використанням природного мовного сигналу / Тарас Вінцюк, Тетяна Людовик, Микола Сажок, Руслан Селюх // Праці 6-ї Всеукраїнської міжнародної конференції “Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів”. – Київ, 2002. – С. 79–8. 8. Людовик Т. В. Інформаційна технологія синтезу індивідуалізованого мовлення за текстом : автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.13.23 / Тетяна Владленівна Людовик. – Київ : Б.в., 2006. – 19 с. 9. INFTY: an integrated OCR system for mathematical documents [Електронний ресурс] / Suzuki M., Tamari F., Fukuda R., Uchida S., Kanahori T. // *Proceedings of the 2003 ACM symposium on Document engineering, April 2003, Grenoble, France.* – Grenoble, 2003. – S. 95–104. – Режим доступу: http://www.inftyproject.org/articles/2003_DocEng_Suzuki.zip. 10. *Synchronized Multimedia Integration Language (SMIL 2.0)* [Електронний ресурс] / Ayars J., Bulterman D., Cohen A., Day K., Hodge E., Hoschka P., Huche E., Jourdan M., Kim M., Kubota K., Lanphier R., Layaida N., Michel T., Newman D., van Ossenbruggen J., Rutledge L., Saccocio B., Schmitz P., Kate W. – Режим доступу: <http://www.w3.org/TR/2005/REC-SMIL2-20050107>. 11. *Specifications for the Digital Talking Book. ANSI/NISO Z39.86–2005 (R2012).* – Режим доступу: <http://www.daisy.org>. 12. Лозицький О. Прикладна програмна система опрацювання україномовних технічних текстів для людей з вадами зору : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 01.05.03 “Математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин та систем” / Лозицький Олександр Анатолійович ; Національний університет “Львівська політехніка” МОН України. – Львів, 2013. – 23 с.