

**ПРОБЛЕМА МОВНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ ТЕКСТІВ ЗА
ДОПОМОГОЮ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМП'ЮТЕРА**

(Представлено д.т.н., проф. С.Ф. Телеником)

У статті висвітлюється проблема сприймання незрячими людьми математичних текстів. Коротко змальовується історичний розвиток засобів передачі інформації пристосованих до потреб сліпих. Описуються можливості шрифту Брайля, як засобу передачі текстової та математичної інформації. Розглядається значення шрифту Брайля для інтелектуального розвитку незрячих людей, уможливлення доступу до математичної літератури з його допомогою. Виявляються притаманні для традиційних засобів використання шрифту Брайля обмеження, що до відображення загального письмово-інформаційного простору. Обговорюються нові можливості комп'ютерних засобів представлення інформації для сліпих, їх переваги перед традиційними носіями інформації для означеної категорії людей. Пропонується шлях розвитку мовних засобів представлення математичної інформації з використанням існуючих синтезаторів мови для персональних комп'ютерів. Окреслюються можливості такого засобу для передачі математичних нотацій на мові. Визначається проблема відповідності мовного опису математичних побудов до графічного запису. Пропонується шлях вирішення цієї проблеми за допомогою формального моделювання природної мови опису математичних викладень. Розкривається значення таких засобів для цільового класу користувачів та для розвитку науки в цілому.

Усі ми ще зі шкільної лави звикли сприймати математичні викладки у двовимірному графічному вигляді на папері, а останні роки і на дисплеї персонального комп'ютера. Дійсно, графічна система представлення математичних знань, яка розвивається вже кілька сторіч, досягла дуже високого рівня наочності та інформативності опису математичних об'єктів. Зазвичай, досвідченому математику або фахівцю, якому доводиться мати справу з математичними побудовами, вистачає одного швидкого погляду на складну формулу, щоб визначити її тип, структуру та призначення. З такими записами зовсім не важко оперувати, роблячи різноманітні перетворення, обчислювання та знаходячи вирішення. Але такий зручний і загальнозживаний засіб запису математичних формул годиться, нажаль, не для всіх людей, яким необхідно мати справу з точними науками. В першу чергу це вчені та фахівці з математики, інформатики, фізики, соціології, лінгвістики та з інших напрямів, які мають тяжкі недоліки зору. Таких людей з дипломами фахівців, кандидатськими та докторськими вченими ступенями тільки в Україні та в Росії у різних наукових, навчальних, виробничих та урядових закладах працює кілька сотень. Хоча, щоб зрозуміти той величезний інтелектуальний потенціал, який може розвинути незряча людина, якщо їй вдасться забезпечити належні умови для творчої діяльності, достатньо буде навести тільки лише приклад видатного математика академіка Л.С. Понтрягіна, який був із раннього дитинства повністю позбавлений зору і все ж досяг всесвітньої слави своїми науковими працями з математики. А проблема інтелектуальної діяльності таких людей криється саме у тому, що з давніх часів, ще з моменту виникнення писемності, традиційні носії інформації (папірус, пергамент, папір, класна дошка, комп'ютерний дисплей) мають суто візуальний характер. Саме через це незрячі люди були позбавлені можливості самостійно сприймати та відтворювати інформацію. З цієї причини Вони були дискриміновані та просто відкинуті на інформаційне узбіччя цивілізації та задовольнялися, у кращому випадку, скромною роллю бродячих кобзарів. Сліпі взагалі вважалися нездатними до навчання.

Однак, ситуація докорінно змінилася після винаходу у середині XIX сторіччя сліпим французьким музикантом Луї Брайлем спеціальної азбуки для сліпих, яка дозволила таким людям читати та фіксувати свої думки на папері. Виявилось також, що за допомогою шрифту Брайля можливо не тільки передавати писемність будь-якої мови, а й відтворювати немовні знакові системи. Так, наприклад, існують досить оригінальні системи запису шрифтом Брайля нотних партитур та математичних нотацій [1]. На відміну від традиційних графічних засобів вище згадані знакові системи є одновимірними і використовують принципи зберігання інформації, які дуже нагадують принципи, застосовані у сучасних комп'ютерних системах. За своєю суттю кожен символ у шрифті Брайля зберігається у вигляді своєрідного шестибітного байта. Через брак значень, які здатні передавати такий зрізаний байт (усього 2 у шостому ступені =64) У шрифті використовуються спеціальні додаткові символи ознак-перемикачів,

які вказують на те, як потрібно інтерпретувати наступний знак чи послідовність знаків, як кирилицю, літери латинської чи грецької абетки, цифри, тощо.

Для запису математичних нотацій шрифтом Брайля розроблена досить зручна для використання, добре продумана та логічно структурована система, яка дозволяє однозначно відобразити всі існуючі математичні символи та побудови. За правилами цієї системи графічне двовимірне зображення нібито розтягується у один рядок. Так, наприклад, для того, щоб передати звичайний дріб, перш за все ставиться знак початку дробу, потім виписується вираз у числівнику, за тим іде знак поділу, вираз у знаменнику і нарешті знак, який вказує на закінчення дробу. Для позначення верхніх та нижніх індексів також використовуються відповідні знаки, котрі позначають початок та кінець індексів і пишуться безпосередньо після символу, до якого відносяться. Таким чином, хоча, за зручністю та наочністю брайлевську систему не можна порівнювати з традиційною графічною, та все ж вона дозволяє самостійно оперувати математичними побудовами людям, які позбавлені можливості сприймати графічне зображення.

Однак, основний недолік шрифту Брайля полягає у тому, що він зрозумілий тільки тим не багатьом, хто його вміє читати, і ним видається дуже обмежена кількість літератури, особливо у останні роки, тим більше з математичного навчального та наукового напрямків. Таким чином незрячі люди хоча і отримали засіб письмового спілкування у вигляді шрифту Брайля, та опинилися через його специфічність у дуже обмеженому письмово-інформаційному просторі. Також видання шрифтом Брайля потребують багато коштовного перфокартного паперу і книжки видані таким чином є дуже громіздкими та обтяжливими у використанні.

Звісна річ, що незрячі фахівці для своєї роботи широко використовують допомогу помічників із нормальним зором, які, зокрема, читають у голос математичні тексти, та переписують їх із слів незрячого вченого. Але помічник для такої роботи сам повинен бути досить кваліфікованим і обізнаним у математичній термінології, щоб безпомилково відтворювати на мові та письмі математичні поняття. Через це далеко не кожний фахівець із вадами зору має можливість користуватися такими послугами сторонньої людини. Особливо це стосується студентів та аспірантів, які більше за інших потерпають від такого стану речей.

Для дійсно рівноправного з іншими людьми доступу до інформації незрячі люди потребують засобу, який би міг бути застосований до загальноживаних джерел інформації і разом з тим був би адекватним для їхнього сприймання. І такий засіб було знайдено з появою персональних комп'ютерів. З'ясувалося, що окрім візуальної форми представлення інформації ПК здатен надавати і інші альтернативні засоби відтворення тексту.

Перш за все підкреслимо, що мова тут іде саме про вивід інформації, тобто про зворотній зв'язок комп'ютера з незрячим користувачем. Ввід інформації у такого користувача зазвичай великих труднощів не викликає. Незрячі люди чудово пристосовуються до комп'ютерної клавіатури так само, як це роблять професійні друкарки, які під час вводу тексту на клавіатуру навіть не поглядають. Звісно, що координатний маніпулятор "Миша" є безкорисним для незрячого, але майже усі "Мишині" дії з успіхом дублюються певними діями на клавіатурі комп'ютера. Тобто, з усіх можливих засобів потрібно знайти ті форми виводу інформації з ПК, які б були прийнятні для незрячого користувача.

Найбільш природним при цьому видається сконструювати рельєфний дисплей, який би мав змогу виводити інформацію шрифтом Брайля. І дійсно, такі пристрої з'явилися ще на самому світанні персональних комп'ютерів - на початку вісімдесятих. Тепер Брайлевські дисплеї широко використовуються незрячими у країнах із розвинутою економікою. Але в умовах нашої країни цей досвід мало прийнятний через надмірну вартість таких приладів, найдешевші з яких, коштують не менше трьох тисяч доларів.

Іншим шляхом є застосування синтезаторів мови, які виводять інформацію у вигляді усних повідомлень. На разі існує чимало різноманітних мовних синтезаторів, для різних мов, апаратних та програмних, для всіх найбільш популярних операційних систем, вартість яких незрівнянно краще підходить для наших можливостей. І в Україні вже більш ніж десять років використовуються та розробляються пакети програм із мовним інтерфейсом для незрячих користувачів. За їх, допомогою люди з недоліками зору отримали необмежений доступ до інформації, яка зберігається у вигляді електронних текстів, а також, за допомогою сканерів та програм оптичного розпізнавання текстів, і до друкованої літератури. Таким чином, застосування сучасних комп'ютерних технологій нарешті, дозволило вирішити споконвічну проблему інформаційного дефіциту у незрячих людей.

Але, якщо проблема мовного відтворення літературних текстів комп'ютерними засобами вже успішно вирішується, то з математичними нотаціями не все так добре. У загальному обігу існує кілька формальних мов, призначених для запису математичних формул. Це такі відомі системи як TeX, Microsoft Equation, Mat ML, UML та інші. Та вони мало прийнятні для мовного відтворення. Більш

менш для цього підходять нотації TeX д. Гнута [2], які є схожими на звичайну мову програмування і складаються з мнемонічних інструкцій, вписаних латинськими літерами у текстовому форматі. Як показує досвід, зрозуміти такий текст на слух можливо, але це потребує від людини занадто багато зусиль, тому що така форма представлення математичних формул не є природною для людського сприймання. До того ж, для того, щоб перевірити результат роботи, по написанню математичного тексту незрячим фахівцем усе одно потрібен помічник, який був би здатен здійснювати візуальний контроль після компіляції тексту. Інші ж перелічені мови взагалі мають не текстову структуру і прочитати їх звичайними мовними засобами неможливо. Тому стає зрозумілим, що для адекватного мовного відтворення математичних текстів потрібен спеціальний інструментарій, який би відповідав усім потребам незрячого фахівця і був би спроможним виводити математичні формули на мові таким чином, щоб це тільки полегшувало, а не ускладнювало їх смислове сприймання. Тобто математичні формули потрібно перетворювати в прийнятну на слух форму (автоматично оптимізувати за критерієм прийнятності на слух). І це є нетривіальним завданням, тому що сприймання на слух докорінно відрізняється від сприймання зорового.

Звісно, простіше за все було б просто розгорнути математичну формулу у послідовний запис на кшталт шрифту Брайля і прочитати його таким чином. Але це мало буде відрізнятися від прочитання нотації TeX, якщо не ще гіршим у плані сприймання. Навпаки, мовне відтворення математичного тексту природно було б наблизити до тої усної мови, якою зазвичай користуються досвідчені математики.

Дійсно, усна форма опису розвивалася паралельно з розвитком графічних форм математичних нотацій. Але вона завжди грала другорядну допоміжну роль, як коментар до графічного зображення формули, адже Основним завданням усного проголошення формули завжди була саме допомога у розумінні її загальної структури. У нашому ж випадку, ця властивість і повинна зіграти першорядну роль. Справа у тому, що на слух людина не може охопити загальну структуру всієї формули, як це вона робить оком. Тому сама ця структура і передається на мові. Тобто, замість того, щоб читати відому тотожність $(a+b)^2=a^2-2a*b+b^2$, як "відкрита дужка, а плюс б, закрита дужка у другому ступені дорівнює a в квадраті мінус два помножити на a , помножити на b , плюс b в квадраті", замість цього ми вимовляємо: "квадрат суми a і b дорівнює сумі квадратів, a , b , без подвоєного добутку a на b ". У останньому реченні викладена ієрархічна структура даної формули: по-перше, слово "тотожність" вказує на те, що це є відношенням виразів, а саме рівнянням. Далі йде слово "квадрат", яке вказує на ступеневу функцію з показником 2 у лівій частині рівняння. Далі вказується аргумент цієї функції, яким є сума a та b . За тим проголошується знак рівняння, що означає закінчення опису лівої частини рівняння та перехід до опису правої. Вираз у правій частині характеризується як сума, членами якої є дві ступеневі функції з показником 2 та аргументами a і b , а також добуток константи -2 на ті ж a і b .

Тобто у правила промовляння математичного тексту вже закладено перетворення формули на ієрархічну структуру. І промовляючи математичну нотацію ми послідовно описуємо кожен рівень цієї ієрархії, вказуючи на всі рівні суперпозицій. І саме таким чином формула буде сприйматися на слух найбільш адекватно. Але тепер, на відміну від традиційного вживання, усне зображення формули виходить на перший план і до нього потрібно застосувати більш жорсткі вимоги, ніж раніше. По-перше, із мовних конструкцій потрібно виключити усі можливі неоднозначності і непевності, притаманні розмовній мові. По-друге, необхідно виробити чіткі правила мовних описів, які б з одного боку зробили такий опис взаємно однозначним графічному запису, а з іншого допомагали б людині сприймати складні відношення між математичними об'єктами. При цьому зовсім необов'язково позбавляти мову описів таких жаргонних виразів, як "квадрат", "куб" замість другого і третього ступенів, "навпіл" замість "поділити на два" і таке інше. Такі вирази при правильному їх використанні не порушуючи однозначності, скорочують опис виразів, що зустрічаються дуже часто, а також наближають мову до звичної людської, знімаючи цим самим психологічну напругу.

Але для того, щоб належним чином вимовити ту чи іншу формулу її спершу потрібно перетворити в зручну для цього форму, тобто розкласти по відповідних рівнях усі об'єкти, які утворюють дану формулу і вказати усі зв'язки між ними.

Як можна бачити, така структура має бути графом типу "мультидерево" [3], у якому вузлами є деякі функції, а ребрами - відношення підпорядкованості між ними.

Елементарними функціями вважаємо усі числа та символічні величини (0-арні функції, тобто функції, які не мають аргументів).

Під символічними величинами розуміємо усі сталі та змінні значення, які позначаються літерами латинської, готичної, грецької або кириличної абетки, та, можливо, мають при собі мітки (штрих, риска, хвиля, тощо) та (або) індекси нижній та (або) верхній, лівий та (або) правий.

Складною функцією вважатимемо будь-яку функцію, яка має один або більше аргументів.

Для запису бінарних операцій та предикатів, таких як сума "+", різниця "-", добуток, ступінь, рівність, нерівність, диз'юнкція, кон'юнкція, імплікація, квантори, тощо, використовуємо префіксну форму, таким чином, що вони виглядають як функції від двох аргументів.

Підпорядкованою функцією() по відношенню до даної складної функції можуть бути елементарні функції або інші складні функції, які є її аргументами.

Також, функції поділяємо на математичні функції, предикати та системи.

Аргументами математичної функції можуть бути тільки інші математичні функції, А областю значень математичної функції може бути, взагалі кажучи, будь-яка математична множина,

Аргументами предиката можуть бути як інші предикати (складні або елементарні), так і математичні функції. тоді як областю значень предиката є виключно булева множина з двома елементами: "істинне" та "хибне".

Системою є n-арная функція, аргументами якої є предикати, а областю значень - всі можливі рішення даної системи.

Таким чином, математичні функції завжди підпорядковуються предикатам (навіть коли предикат явно відсутній, вважаємо що математична функція завжди має істинне значення - вироджений предикат), а предикати визначають логічну побудову математичної формули та (або) самі утворюють предикатну формулу, яка зовсім необов'язково повинна мати математичні функції у якості аргументів.

Предикати, в свою чергу, завжди підпорядковані деякій системі (навіть якщо ця система складається тільки з одного елемента - вироджена система).

Система ж неявно визначає залежності між змінними виразів, які є її елементами.

Як можна бачити, будь-яка формула будується з трьох рівнів опису: системного, предикатного та математичного, які підпорядковані один одному, не пересікаються між собою та кожний з яких може мати свої особливості мовного опису.

Використання у такому запису круглих дужок для унаочнення пріоритетності операцій вже стає непотрібним, через те, що порядок дій тут є суворо визначеним за допомогою відношень підпорядкування функцій. квадратні та фігурні лапки не вважаються складовою формули і відносяться до оточуючого тексту.

Мовний опис формули повинен починатися з найвищого невиродженого рівня ієрархії (тобто з функції, яка вже не є аргументом іншої функції в даному записі) і з перших слів повинен характеризувати в цілому структуру математичної формули, а потім рекурсивно переходячи до опису аргументів початкової функції, поглиблювати опис до елементарних функцій, які є найглибшими елементами структури. Тобто опис робиться за алгоритмом обходу "дерева", коренем якого є початкова функція (у загальному випадку - це система), а листям - елементарні функції (загалом, математичні). Хоча, звісна річ, вироджені або неіснуючі в даній формулі рівні не повинні і згадуватися.

Наведемо приклад вище змальованого запису математичних формул.

1) Так система

$$|x+y=5$$

$$|x-y=1$$

після перетворення у пропоновану структуру виглядатиме як:

$$\text{Система}(\text{Рівність}(\text{Сума}(x,y),5),\text{Рівність}(\text{Різниця}(x,y),1))$$

2) $\forall x \text{ із } [0,1]: F(x)=0$

$$\text{Для_будь-якого}(\text{Належить}(x,[0,1]), \text{Дорівнює}(F(x),0))$$

3) $((A \Rightarrow B) \text{ and } (B \Rightarrow C)) \Rightarrow (A \Rightarrow C)$

$$\text{Imp}(\text{And}(\text{Imp}(A,B), \text{Imp}(B,C)), \text{Imp}(A,C))$$

Легко бачити, що хоча такий запис дещо і втрачає у наочності графічного представлення формули, але натомість, його структура співпадає з побудовою мовного проголошення даного математичного запису з точністю до вибору між префіксним та інфіксним промовлянням окремих функцій.

Необхідно також взяти до уваги, що на мові різні функції промовляються по-різному. Так, багато з найрозповсюдженіших арифметичних операцій прийнято промовляти слідуючи за графічною формою у інфіксному вигляді: "А у ступені Бе", а така функція від трьох аргументів, як визначений інтеграл, потребує, щоб після слова "інтеграл" було б сказано: "в межах від першого аргументу до другого аргументу, третій аргумент, де ікс". В той же час, як функція $F(x,y,z)$ також від трьох аргументів, повинна вже промовлятися просто: "Еф от ікс, Ігрек, зет". Тобто зрозуміло, що з кожним типом функцій необхідно пов'язати правила її промовляння, які будуть використовуватися в процесі вербалізації математичного запису. Користувач повинен мати змогу вводити у текст нові нестандартні математичні функції та предикати з довільною кількістю та типом аргументів і закладати правила їх промовляння.

Але не слід обмежувати опис математичної формули тільки автоматичним промовлянням всієї її структури. Жодна людина не в змозі сприйняти одразу такий великий потік інформації, щоб скласти за ним повне уявлення про структуру складної формули. Окрім того, такий опис принесе замало користі в плані оперування математичними об'єктами. А це означає, що обстеження математичної побудови повинно бути керованим з боку користувача. Тобто користувач повинен мати змогу за власним бажанням переходити між рівнями побудови, осмислювати кожен з них стільки часу, скільки йому потрібно, запускати автоматичний рекурсивний опис з будь-якого рівня ієрархії, отримувати значущу для нього інформацію про текучий рівень, таку, як глибину суперпозиції функцій від даного рівня, перелік символічних величин, тощо. Більш цього, при такому керованому обстеженні користувач матиме змогу оперувати з будь-яким рівнем, змінювати його відношення, застосовувати до нього функції або робити складовою інших виразів. Таким чином незряча людина отримає можливість легко оперувати з найскладнішими математичними формулами будь-якого типу та походження, перетворювати їх, оптимізувати та знаходити вирішення поставлених завдань.

Більше того, програмі можна надати консультативний голос що до тотожності перетворень, можливостей спрощення та оптимізації за обраним критерієм.

Ще більш нагальною проблемою ніж читання математичних формул для незрячого спеціаліста є сприймання різноманітних графічних побудов, таких як графіки, діаграми, блок-схеми, графи та інше, які закликані унаочнювати відносини і зв'язки між різними об'єктами та величинами. Рельєфна побудова таких зображень пов'язана з великими труднощами і для більш-менш складних випадків зовсім неможлива. Мовне представлення таких побудов мало досліджене і у цьому напрямі ще потрібно буде багато зробити. Перш за все необхідно визначити всі ті притаманні кожній з таких побудов властивості, параметри та об'єкти, які несуть значущу для розуміння інформацію, а затим доведеться виробити спеціальну термінологію та мовні конструкції, які б точно і однозначно передавали б на мові усі необхідні данні.

Для забезпечення зручного оперування математичними записами за допомогою мовних засобів необхідно зберігати їх у спеціальних структурах, побудова яких відповідала б усім вимогам мовного представлення математичної інформації.

За для забезпечення сумісності такого операційного мовного середовища із загальноживаними засобами електронного представлення математичних текстів, необхідно створити транслятори у обидва боки між усіма існуючими математичними нотаціями і структурою мовного представлення. Для цього передбачається використати потужний апарат символічних перетворень за допомогою теорії контекстно вільних граматики [4].

Висновки

Наявність потужного інструменту для роботи з математичними формулами на мові повинно компенсувати незрячій людині ті труднощі сприймання математичних побудов та оперування з ними, які спричинило їй відсутність зору. Втілення такого програмного забезпечення, безперечно, відкриє нові, небачені досі, можливості творчої діяльності для багатьох людей з обмеженим зором, принесе користь як науці так і вмілому нашому суспільству. Напевно, також, що результати цього дослідження стануть на пригоді не тільки обмеженому колу фахівців із порушеннями зору, а й будуть корисними для подальшого розвитку багатьох напрямів теорії інформації, семіотики, лінгвістики, тощо.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Система обозначений для слепых по математике, физике, химии и астрономии. – М.: Просвещение, 1981. – 709 с.
2. Кнут Д. Все про TeX. – Протвино: АО RDTeX, 1993. – 340 с.

3. *Цейтлин Г.Е.* Введение в алгоритмику. – Киев: Сфера, 1998. – 310 с.

4. *Глушков В.М., Цейтлин Г.Е., Ющенко Е.Л.* Алгебра. Языки. Программирование. – Киев: Наукова думка, 1989. – 670 с.

КАРТАВЦЕВ Сергій Олександрович – аспірант кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- програмування;
- лінгвістика;
- невізуальне представлення даних.

Подано 11.12.2001

Проблема языкового представления математических текстов с помощью персонального компьютера / С.А. Картавец // Библиогр.: 4 назв.

В статье описывается проблема восприятия незрячими людьми математических текстов. Описываются возможности шрифта Брайля, как средства передачи текстовой и математической информации. Предлагается путь развития языковых средств предоставления математической информации с использованием существующих синтезаторов речи для персональных компьютеров.

The problem of language representation of mathematic texts with personal computer / S.A. Kartavtsev // Refs.: 4 titles.

In article the problem of mathematic texts perception by blind people is considered. Brayl font possibilities of text and mathematic information exchange are described. There is proposed a growing way of language representation means of mathematic information with using personal computer speech synthesizers.