



Technologie asystujące zwiększające dostępność formuł matematycznych dla niewidomych: stan obecny i podjęte badania

dr inż. JOLANTA BRZOSTEK-PAWŁOWSKA

Instytut Maszyn Matematycznych, Warszawa

Problemem jest ograniczona dostępność zapisów matematycznych, formuł i grafiki, dla osób niewidomych, co wpływa na niski poziom kompetencji matematycznych nabywanych w szkołach przez niewidomych (i słabowidzących).

Ze wstępnych, nieopublikowanych, badań przeprowadzonych przez Fundację Polskich Niewidomych i Słabowidzących Trakt, przede wszystkim wśród rodziców niewidomych uczniów chodzących do szkół ogólnodostępnych, wynika, że na lekcjach matematyki uczniowie praktycznie nie biorą aktywnego udziału w lekcjach matematyki z powodu braku możliwości komunikacji między nauczycielem i uczniem w zakresie formuł i grafiki matematycznej. Podobna sytuacja występuje w domach tych uczniów, których rodzice merytorycznie przygotowani do pomocy niewidomemu dziecku, nie mogą tego zrobić z powodu bariery komunikacyjnej.

Według raportu statystycznego Ministerstwa Edukacji Narodowej z 2012 r. w szkołach podstawowych, gimnazjach i ponadgimnazjalnych było 5565 uczniów niewidomych i słabo widzących. W szkołach podstawowych było 2764 uczniów, w gimnazjach – 1741 uczniów i w szkołach ponadgimnazjalnych – 1188 uczniów. Zaś w szkołach wyższych, wg raportu Polskiego Związku Niewidomych za 2011/2012 r., studentów z uszkodzonym wzrokiem jest w sumie 649. Widać tendencję spadkową liczebności uczniów niewidomych i słabowidzących zależną od poziomu szkoły – im wyższy poziom szkoły tym mniej jest uczniów z uszkodzonym wzrokiem. Najmniej uczniów można odnotować w liceach profilowanych, technikach i szkołach policealnych – razem w tego typu szkołach w 2012 r. uczyło się 581 uczniów (mniej niż na uczelniach). Warto zauważyć, że proporcje między liczebnością uczniów w szkołach ogólnodostępnych i w szkołach specjalnych wynoszą dla szkół podstawowych 1497:267 uczniów, dla gimnazjów 1478:263 uczniów, dla szkół ponadgimnazjalnych 721: 470 uczniów, z przewagą uczniów w szkołach ogólnodostępnych. W związku z takimi proporcjami problem efektywnej komunikacji nauczycieli matematyki w szkołach ogólnodostępnych z uczniami niepełnosprawnymi wzrokowo jest ważny i wymaga usprawniających rozwiązań..

Ważkość problemu dostępnej komunikacji matematycznej w szkołach otwartych potwierdzają np. badania statystyczne z 2007 roku przeprowadzone przez *Instytut Badań Marketingowych i Społecznych VRG Strategia* na uczelniach wyższych województwa małopolskiego. Wynika, że studenci niewidomi i słabowidzący rekrutują się na poziomie 18% ze szkół średnich specjalnych i 82% ze szkół średnich ogólnodostępnych, przy czym w grupie osób funkcjonalnie niewidomych, proporcje absolwentów szkoły dla niewidomych i absolwentów szkół otwartych są równe – po 50%. Kierunków technicznych nie studiował żaden z badanych studentów funkcjonalnie niewidomych. Większość rekrutowanych osób niewidomych i słabowidzących wybiera studia na kierunkach humanistycznych. Liczba studentów niewidomych i słabowidzących na polskich wyższych uczelniach

daleko odbiega od średnich europejskich. Wykruszanie się uczniów niewidomych i słabowidzących na wyższych poziomach edukacji wynika m.in. z kłopotów w edukacji matematycznej, a te są generowane również przez brak efektywnych technik komunikacji.

Problem braku efektywnej komunikacji matematycznej z niewidomym uczniem w szkole, ale również poza szkołą np. z niewidomym pracownikiem w pracy, nasila się również z powodu coraz większego rozwoju i udziału w życiu społecznym i zawodowym wysokich technologii opartych na matematyce i fizyce. Umiejętność rozumienia i posługiwania się tymi technologiami jest warunkiem równoprawnego udziału zarówno w społeczeństwie informacyjnym, jak i w życiu zawodowym.

Marginalizacja merytoryczna, ale i tym samym społeczna w szkołach, niewidomych uczniów w edukacji matematycznej w szkołach ogólnodostępnych, jak również osiąganie przez nich w ośrodkach specjalistycznych podstawowych kompetencji matematycznych, powoduje, że uczniowie niewidomi mają trudności w zdobyciu wyższego wykształcenia technicznego bazującego na naukach matematycznych. Jest wiele zawodów technicznych, w których świetnie mogą odnajdować się niewidomi, takich przykładowo jak informatyk/programista, logistyk, analityk danych, tester, administrator baz danych.

Istnienie dobrych narzędzi wspomagających edukację matematyczną już na poziomie podstawowym i gimnazjalnym może przyczynić się do większej śmiałości przy wybieraniu technicznych szkół średnich lub matematycznie profilowanych klas w liceach oraz studiów technicznych takich jak matematyka czy informatyka, przez potencjalnych uzdolnionych technicznie niewidomych studentów.

Istota problemu dostępności formuł matematycznych dla niewidomych

Problemy niewidomych z przetwarzaniem (czytaniem, edycją, modyfikacją) formuł matematycznych polegają na tym, że formuły matematyczne są wizualizowane przestrzennie a nie liniowo. Czytniki ekranów – oprogramowanie wspomagające dostęp niewidomych do wyświetlanych na ekranie treści, odczytują teksty liniowo. Brakuje czytników odczytujących semantycznie zapisy matematyczne w języku polskim. Niewidomi znający brają wprowadzają formuły brajlowską liniową notacją matematyczną, również w tej notacji odczytują formuły na liniijkach brajlowskich. Bardziej zaawansowani technologicznie niewidomi korzystają przy edycji formuł z tagowego języka środowiska do składu tekstów LaTeX. Ani notacje brajlowskie, zwłaszcza matematyczna notacja brajlowska, ani środowisko LaTeX nie są technologiami powszechnego stosowania przez osoby widzące np. nauczycieli w szkołach ogólnodostępnych, ani nie wspierają bezpośredniej w czasie rzeczywistym komunikacji w obszarze matematycznym między niewidomymi i osobami widzącymi.



Brak łatwego dostępu do matematycznych zasobów i trudności niewidomych uczniów lub pracowników w komunikowaniu się na bieżąco w matematyce z nauczycielem lub współpracownikiem stanowi poważną barierę dla niewidomych – w szkole, w czasie studiów wyższych, jak i w pracy.

Prace badawcze w ośrodkach naukowych oraz komercyjne opracowania technologii i narzędzi zwiększających dostępność formuł matematycznych i elektronicznych publikacji technicznych prowadzone są w kierunkach przedstawionych w dalszej części artykułu. Niestety, uwzględniane w tych badaniach i rozwiązaniach **anglosaskie i narodowe standardy brajlowskie i języki narodowe uniemożliwiają zastosowanie ich bezpośrednio przez polskich niewidomych użytkowników**. Nie ma narzędzi wspomagających *online* komunikację matematyczną, która obejmuje tworzenie zasobów matematycznych przez autora i natychmiastowy dostęp do nich odbiorcy, w sytuacji, gdy autor lub odbiorca może być niewidomym posługującym się lub nieposługującym się brajlem. Pierwsze anonse o podjętych badaniach nad opracowaniem technologii efektywnej, dostępnej komunikacji w obszarze matematyki pochodzą z czerwca tego roku (2013) na stronie University of Alabama in Huntsville (UAH) [12]. W tym samym czasie w Instytucie Maszyn Matematycznych (IMM) zapoczątkowane zostały badania nad opracowaniem platformy ułatwiającej komunikację w obszarze matematyki między użytkownikami niewidomymi i widzającymi.

Zwiększenie dostępności formuł matematycznych dla potrzeb ich edycji i odczytywania

Badania nad nowymi notacjami i prezentacjami formuł, efektywniejszymi w edycji i odbiorze przez niewidomych

Prezentowanie dla niewidomych tak złożonych informacji, jak formuły matematyczne, nastręcza wiele problemów – głównie z uwagi na linearny charakter zarówno mowy jak i brajla, które są dla nich podstawowymi nośnikami informacji. Wykorzystanie przez niewidomych takich liniowych metod zapisywania formuł matematycznych jak LaTeX, czy MathML jest mało wygodne ze względu na ich rozległość oraz trudności z odczytem tych zapisów przy pomocy mowy syntetycznej (a w języku polskim brak narzędzi takiego odczytu). Stosowanie przez niewidomych tych notacji i środowisk edycyjnych z nimi związanych ogranicza się w większości do edycji prostych formuł.

Zastosowanie brajla jest bardziej praktyczne, jednak coraz mniej polskich niewidomych zna brajlowską notację matematyczną dostatecznie biegle; nie ma też w na świecie jednolitego standardu notacji matematycznej, co uniemożliwia wykorzystanie przez polskiego użytkownika istniejących narzędzi, które są w większości dostępne w angielskich wersjach.

W pracy [1] autorzy proponują nową, bardzo zwartą metodę linearnego zapisu matematyki dla niewidomych, która może stanowić podstawę dla nowej, brajlowskiej czcionki. Zaletą tej notacji jest możliwość wykorzystania do jej odczytu i zapisu jednego z powszechnych czytników ekranowych. Opracowano również translator tej notacji na MathML (i odwrotnie), które zintegrowano z Microsoft Word i edytorem formuł MathType.

Linearny zapis matematyki nie jest jedynym rozwiązaniem możliwym do zastosowania dla niewidomych. Autorzy pracy [2] stawiają hipotezę, że dwuwymiarowy (nielinearny) odczyt wyrażenia matematycznego może znacznie przyspieszyć i usprawnić proces nauczania niewidomych dzieci. W tym celu opracowano system, w którym wyrażenia algebraiczne i arytmetyczne pre-

zentowane są w dwu-wymiarowych blokach odczytywanych następnie za pomocą dotyku.

Badania nad tekstowym zapisem i wiarygodnymi metodami dźwiękowego odczytu formuł matematycznych w językach naturalnych zapisanych w różnych notacjach matematycznych

Wiele prac badawczych zostało poświęconych sposobom automatycznego odczytu wyrażenia matematycznego w językach naturalnych. Problem ten stanowi wyzwanie z uwagi na wielo-wymiarowy (nielinearny) charakter notacji matematycznej powszechnie stosowanej przez widzających, który powinien być przetworzony do postaci linearnej, jakim jest przecież ich dźwiękowy odczyt. W pracy [3] zaproponowano przygotowany do współpracy z czytnikami ekranowymi, system i-Math, który pozwala na automatyczny odczyt dokumentów zawierających formuły oraz na zapisywanie powstałego głosowego wyjścia (opisu formuły) w pamięci komputera. Jednym z zastosowań tego narzędzia, jakie wymieniają autorzy, jest pomoc dla nauczycieli w wygodnym przygotowywaniu klasówek, konspektów i ćwiczeń w wersji audio, na co też wskazują wyniki przeprowadzonych badań ewaluacyjnych.

Podobny kierunek badań przyjęli autorzy pracy [4]. Opracowali oni metodę przetwarzania dokumentów technicznych – zawierających złożone formuły matematyczne na deskryptywną postać audio. W wyniku ich prac powstało narzędzie o nazwie MathSpeak.

W innej jeszcze publikacji [5] prezentowane są rezultaty prac nad opisem wyrażenia matematycznego za pomocą języków naturalnych. Opracowano repozytorium typu Wikipedii zawierających 420 000 formuł matematycznych, gdzie zastosowano dobrze wyselekcjonowany podzbiór konstrukcji języka naturalnego. Przy czym autorzy koncentrowali się przede wszystkim na semantyce formuły, co pozwoliło im na uzyskanie bardzo wysokiej precyzji rozumienia opisów rzędu 80%.

Wymienione prace wykazują, że tworzenie opisów wyrażenia matematycznego w językach naturalnych stanowi prawidłowy kierunek badań w stronę poprawy dostępności matematyki dla niewidomych. Jednak należy podkreślić, że pomimo istnienia wielu rozwiązań, **wciąż nie ma żadnego, publicznie dostępnego sposobu automatycznego odczytu formuł dla języka polskiego**.

Badania nad metodami konwersji formuł z różnych notacji matematycznych na brajla w różnych narodowych standardach

Innym, ważnym obszarem badań, jest konwersja formuł matematycznych, wyrażanych w różnych standardowych, liniowych notacjach – takich jak LaTeX i MathML, na brajla. Czynnikiem, który stanowi o złożoności takiej konwersji, jak również powoduje wiele innych problemów, jest powszechnie występujący brak międzynarodowej standaryzacji notacji brajlowskiej i wykorzystywanych tablic brajlowskich. Różne ośrodki badawcze podejmowały prace w kierunku konwersji zapisów matematycznych (wyrażanych np. w LaTeX, MathML) na narodowe, brajlowskie notacje matematyczne. Warto podkreślić, że nie są prawie znane prace, które podejmowałyby temat konwersji odwrotnej (tzn. z brajla na liniowe notacje). W pracy [6] zaprezentowano narzędzie MathInBraille, którego częścią jest portal internetowy posiadający funkcjonalność automatycznej konwersji matematycznych formuł i elektronicznych dokumentów (zawierających matematykę) do postaci brajla oraz mowy. Narzędzie to ma charakter otwartej usługi, która może być wykorzystywana nieodpłatnie. MathInBraille wnosi istotny wkład w podniesienie dostępności i użytecz-



ności matematycznych tekstów dla niewidomych, niestety – nie polskojęzycznych.

Z kolei w pracy [8] przedstawiono serwis RoboBraille, który umożliwia w pełni automatyczną konwersję tekstu na jeden z alternatywnych formatów – w tym brajla. Serwis ten opracowano na uniwersytecie Stanford. Pozwala on studentom (angielskojęzycznym) na samodzielną konwersję materiałów edukacyjnych.

W pracy [7] przedstawiono propozycję rozwiązania tego problemu w bardzo elastyczny sposób. Autorzy opisują bibliotekę otwartego kodu (open source) o nazwie UMCL, która zawiera rozmaite konwertery dla różnych brajlowskich kodowań. Biblioteka ta pozwala na tworzenie aplikacji, które w łatwy sposób mogą konwertować wyrażenia matematyczne (zapisane w MathML, LaTeX itp.) na różnorodne, narodowe brajlowskie notacje. Narzędzie to, jako nieliczne, pozwala również na odwrotną konwersję (tj. z brajla na jeden ze standardowych języków).

System UMCL wspiera takie formaty wyjściowe jak notacja: francuska, włoska, Marburg (niemiecka), Nemeth (angielska amerykańska), brytyjska. Moduły wejściowe dają z kolei wsparcie m.in. dla: MathML, LaTeX, brajla Marburg. Należy podkreślić, że biblioteka ta może być wykorzystywana zarówno jako narzędzie transkrypcyjne ze standardowego języka na brajla (i odwrotnie), jak i włączana do oprogramowania wymagającego konwersji w czasie rzeczywistym (takiego jak przeglądarki bądź edytory formuł matematycznych). UMCL pozwala również na konwersję dokumentów z jednej brajlowskiej notacji matematycznej do innej – w ten sposób pozwalając niewidomym różnej narodowości na wymianę dokumentów technicznych i matematycznych. Jednak dla polskiego niewidomego, zwłaszcza ucznia, jest to narzędzie nieprzydatne głównie z powodu potrzeby jego dodatkowego oprogramowania (np. stworzenia odpowiedniego interfejsu użytkownika) oraz braku modułów dla polskiej notacji matematycznej.

Nieliczne badania nad metodami konwersji formuł matematycznych zapisanych w narodowych notacjach brajlowskich na tekstowe notacje różnych standardów

Oprócz technologii UMCL, omówionej wcześniej prace nad konwersją formuł z brajla zostały przedstawione w [9], gdzie prezentowany jest konwerter hiszpańskiej matematycznej notacji brajlowskiej do standardu matematycznej notacji MathML. System translacji został zaprojektowany jako przenośna biblioteka programistyczna i jego zadaniem jest rozwiązywanie niejednoznaczności w hiszpańskim brajlu matematycznym. Generuje on kod pośredni – co znaczy, że może być łatwo zaadaptowany do brajlowskich notacji (dla innych języków narodowych) lub innych (niż MathML) formatów wyjściowych. Niestety, ponieważ materiałem wyjściowym jest notacja hiszpańska – konwerter ten nie ma zastosowania dla polskiego ucznia.

Badania nad dostępnością elektronicznych publikacji matematycznych i technicznych

W pracy [10] prezentowane jest globalne podejście do problemu podniesienia dostępności literatury naukowej i technicznej. Opisano w niej badawczy i rozwojowy projekt AcceSciTech. Projekt bazuje na formacie XML i ma w zamierzeniu zaowocować rozwinięciem spójnego zbioru narzędzi do tworzenia, edytowania, dostarczania i przetwarzania złożonych dokumentów, które dzięki niemu staną się dostępne dla osób niepełnosprawnych.

Otwartym formatem elektronicznych publikacji, jaki w ostatnich latach rozwija się niezwykle prężnie, jest ePUB (skrót od angielskiego „electronic publication”). Dotychczas powstało już

wiele prac i projektów opartych na ePUB. Interesującym przykładem jest będące w początkowym stadium rozwoju rozwiązanie przedstawione w publikacji [11]. Jej autorzy proponują system edukacyjny wykorzystujący elektroniczne materiały ePUB i smartfony/tablety. Jest to idea zbieżna z podjętymi badaniami w IMM. Różnica polega na tym, że proponowany we wspomnianej pracy system edukacyjny nie jest specjalizowany dla nauczania matematyki.

Podjęte badania nad komunikowaniem się na bieżąco osób widzących i niewidomych w zakresie matematyki

Badania nad komunikowaniem się na bieżąco osób widzących z niewidomymi w obszarze matematyki były określane do 2013 r. jako pilne potrzeby badawcze. Formułowano wymagania dotyczące koniecznych cech technologii, jaka miałaby powstać w wyniku tych badań [11]. Do dziś w bazach naukowych nie wiadać publikacji na temat takich badań. Pierwszą jaskółką w tym zakresie jest wiadomość ogłoszona w czerwcu tego roku (2013) na stronie University of Alabama in Huntsville (UAH) [12] o uzyskaniu finansowania projektu (na kwotę 300 tys USD), dzięki któremu niewidomi i słabowidzący studenci matematyki będą mogli komunikować się zdalnie ze swoimi widzącymi nauczycielami używając do tego precyzyjnego symbolicznego języka matematycznego oraz łatwo dostępnego dwukierunkowego systemu, który będzie zaimplementowany na uniwersytecie Alabama. System powstaje we współpracy z jedną z firm zajmujących się przygotowaniem materiałów w druku wypukłym dla niewidomych

Nie są znane jeszcze szczegóły tego projektu, który dopiero się rozpoczyna, choć wydaje się, że jest on w swej idei podobny do podjętego w IMM, zapewne skromniejszego ze względu na dostępne środki finansowe.

Badania rozpoczęte w IMM dotyczą poprawy komunikacji synchronicznej (dokładniej: prawie synchronicznej) pomiędzy niewidomym uczniem a widzącym nauczycielem w zakresie matematyki i innych nauk technicznych, w których występują zapisy matematyczne bądź fizyczne. Wybór takiego kierunku badań jest podyktowany dwiema przesłankami:

- badania tego typu są bardzo nieliczne nawet na świecie, a w Polsce praktycznie nie były prowadzone,
- dla skutecznego opanowania przez ucznia umiejętności matematycznych komunikacja odbywająca się na bieżąco z nauczycielem jest niezbędna.

Podczas, gdy niewidomi na świecie np. w USA czy Wielkiej Brytanii mogą korzystać z niektórych, wymienionych wcześniej w p. 3, narzędzi i technologii wspomagających ich edukację matematyczną, to dla polskich niewidomych użytkowników nie są one możliwe do zastosowania. Jest to spowodowane używaniem w tych narzędziach narodowych sposobów zapisu matematyki (brajl) oraz natywnego języka innego niż polski, w większości języka angielskiego, do ich dźwiękowego odczytu mowa syntetyczną. Inne techniki takie jak np. język LaTeX są zbyt trudne dla początkującego użytkownika. Powoduje to, że często uczniowie niewidomi w szkołach ogólnodostępnych są szcążkowo wyedukowani matematycznie, gdyż nauczyciele z powodu braku dostępnych technik nie potrafią poradzić sobie z problemem przekazania im umiejętności matematycznych.

Mimo, że problem udostępnienia elektronicznych technik edukacji matematycznej dla niewidomych był już podejmowany np. przez Uniwersytet Warszawski i IPI PAN, opracowane dotychczas rozwiązania nie przyjęły się w powszechnym użytku. Jednym z powodów były trudności w ich wykorzystaniu przez nauczycieli,



w szczególności niezających brajla nauczycieli ze szkół masowych. Innymi powodami było z kolei rozminięcie się powstałych rozwiązań z oczekiwaniami użytkowników co do ich działania, a także brak kompleksowości powstałych narzędzi. Nie były one ukierunkowane na komunikację na bieżąco.

Celem badań w IMM jest opracowanie nieskomplikowanego w użyciu, kompleksowego narzędzia komunikacji matematycznej na bieżąco, poprzez Internet jak również bez konieczności korzystania z Internetu, przeznaczonego dla polskich użytkowników z takich grup jak:

- widzący nauczyciele matematyki nie znający brajla,
- niewidomi uczniowie znający brajla,
- niewidomi i słabowidzący uczniowie nieznanymi brajla,
- rodzice niewidomych i słabowidzących uczniów znający i nieznający brajla.

Narzędzie ma być statystycznie akceptowane przez wymienione grupy potencjalnych użytkowników, i umożliwiać efektywne nauczanie matematyki niewidomych uczniów. Narzędzie będzie również użyteczne dla współpracy zawodowej z pracownikiem niewidomym, gdy w grę będą wchodziły dokumenty matematyczno-techniczne, nasycone formułami matematycznymi.

Zakończenie

Artykuł porusza jeden z wielu problemów z zakresu dostępności do informacji osób niepełnosprawnych i istotnej roli w rozwiązywaniu lub zmniejszaniu tych problemów przez zastosowanie technologii asystujących. Artykuł skupia uwagę czytelnika na dostępności formuł matematycznych dla niewidomych i technologiach asystujących, ułatwiających edycję i odczyt formuł. W artykule [13], w numerze 11/2012 Elektroniki, został zaś przedstawiony problem dostępności grafik matematycznych i technologie wspomagające ich odczyt. W obu artykułach zaprezentowano całość – technologie asystujące niewidomym w dostępie do zasobów i zagadnień matematycznych. Silny rozwój technologii asystujących, również w obszarze matematyki, niestety nie obejmuje praktycznymi zastosowaniami polskich niewidomych, z powodu barier tworzonych przez różnice w standardach notacji brajlowskich i językach naturalnych. Natomiast w Polsce praktycznie badań i prac rozwojowych w tym zakresie nie prowadzi się. Problemem zaś globalnym jest brak, jak dotąd, zintegrowanych technologii i narzędzi sprawnej, na bieżąco, komunikacji matematycznej niewidomych z widzącymi, co radykalnie by poprawiło sytuację np. w edukacji matematycznej.

Rozpoczęte, wspomniane wcześniej, badania na uniwersytecie stanu Alabama i, na mniejszą skalę, w IMM tworzą nadzieję.

Literatura

- [1] Gardner, J., Christensen, C., More accessible math: The LEAN math notation, 13th International Conference on Computers Helping People with Special Needs, ICCHP 2012; Linz; Austria; July 2012, Pages 124–129.
- [2] Breiter, Y., Karshmer, A., Karshmer, J., AutOMathic blocks usability testing phase one 13th International Conference on Computers Helping People with Special Needs, ICCHP 2012; July 2012, Pages 191–195.
- [3] Wongkia, W., Naruedomkul, K., Cercone, N., I-Math: Automatic math reader for Thai blind and visually impaired students, Computers and Mathematics with Applications Vol. 64, Issue 6, September 2012, Pages 2128–2140.
- [4] Nazemi, A., Murray, I., Mohammadi, N., Mathspeak: An audio method for presenting mathematical formulae to blind students, International Conference on Human System Interaction, HIS, 2012, Pages 48–52.
- [5] Fuentes Sepúlveda, J., Ferrer, L., Improving accessibility to mathematical formulas: The Wikipedia Math Accessor, New Review of Hypermedia and Multimedia, Vol. 18, Issue 3, 1 September 2012, Pages 183–204.
- [6] Miesenberger, K., Batusic, M., Heumader, P., Stöger, B., MathIn-Braille online converter, 13th International Conference on Computers Helping People with Special Needs, ICCHP 2012; July 2012, Pages 196–203.
- [7] Archambault, D., Guyon, F., UMCL transcription tools: Universal Maths Conversion Library, Assistive Technology Research Series, Volume 29, 2011, Pages 416–423.
- [8] Christensen, L.B., Keegan, S.J., Stevens, T., SCRIBE: A model for implementing robobrace in a higher education institution, 13th International Conference on Computers Helping People with Special Needs, ICCHP 2012; July 2012, Pages 77–83.
- [9] Alonso F., Fuertes J., Gonzales A., Martinez A., SBT: A Translator from Spanish Mathematical Braille to MathML, 10th International Conference on Computers Helping People with Special Needs ICCHP 2006, Pages 1207–1214.
- [10] Bernier, A., Burger, D., AcceSciTech: A global approach to make scientific and technical literature accessible, 7th International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction: Design Methods, Tools, and Interaction Techniques for eInclusion, UAHCI 2013, 2013, Pages 283–290.
- [11] Stanley, P., Assessing The Mathematic Related Communication Requirements of the Blind in Education and Career, Proceedings of the 11th international conference on Computers Helping People with Special Needs ICCHP '08, Pages 888–891, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg ©2008.
- [12] http://www.uah.edu/news/research/6205-visually-impaired-to-get-first-chance-at-written-remote-math-conversations#.UhyJtX_X9iS
- [13] Jolanta Brzostek-Pawłowska, J., Mikułowski, D., Techniki multimedialne zwiększające dostępność grafiki na stronach WWW i w elektronicznych dokumentach, Elektronika – konstrukcje, technologie, zastosowania, nr 11/2012, str. 77–84.

www.sigma-not.pl

Największa baza artykułów technicznych online!