

VoiceOverM²L - Talk the Math

Daniel Silva, Pedro Abreu, Pedro Mendes, e Vasco Vinhas

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto Rua Dr. Roberto Frias, s/n
4200-465 Porto, Portugal

Resumo Apesar da facilidade de acesso à informação e simbiótica disseminação, subsistem nichos com barreiras de acessibilidade. Existem igualmente áreas de conhecimento cujo léxico próprio tem necessidades expressivas actualmente sem resposta aceitável. Associando-se-lhes os nichos mencionados, assumem carácter particularmente relevante. A interpretação da informação matemática por invisuais ilustra esta problemática, emergindo a necessidade de ferramentas compatibilizadoras de apresentação e percepção. A sua realização passa pela vocalização da tradução do formato MathML para linguagem natural. Domínio privilegiado para a aplicação desta abordagem é a utilização dos *audio-browsers*, visto permitirem acesso a conteúdos disponibilizados na *web*. Assim, usufruindo das normas existentes, optou-se pela codificação da linguagem natural em SSML. A versatilidade da tecnologia torna-a adaptável a outras áreas, destacando-se ensino e investigação, com aplicações como leitura automática de enunciados, respectivos processos inversos e aprendizagem da simbologia matemática. Isto possibilita a generalização para sistemas de interacção por voz, reformulando paradigmas de interacção pessoa-computador.

1 Introdução

Nas últimas décadas, uma das consequências do desenvolvimento das redes de comunicação de dados foi, indubitavelmente, a proliferação de informação em formato digital. Todavia, se por um lado se verifica um crescimento massivo de conteúdos publicados em formato digital, semelhante evolução não se verifica no que diz respeito aos paradigmas utilizados pelos actuais terminais de acesso. Relativamente a estes, constata-se de facto que os paradigmas nos quais se baseiam se mantêm praticamente inalterados, não sendo mesmo de colocar de parte alguma regressão, se se considerar o abandono das interfaces em linguagem natural (LN) em meados da década de 90[1].

Deste contexto advêm claramente dificuldades acrescidas de acesso à informação por parte de indivíduos com necessidades especiais, pois as actuais interfaces não tomaram em conta, na sua concepção, requisitos básicos de usabilidade nestas condições. A *web*, meio privilegiado para a troca de informação e conteúdos, é um dos casos que melhor ilustra esta problemática. Na realidade, o W3C[2,3] desenvolveu um conjunto de regras de validação de código fonte de forma a proporcionar retrocompatibilidade com *audio-browsers* ou outros dispositivos semelhantes que procuram contornar, na sua maioria, dificuldades a nível

da percepção visual. No entanto, a grande maioria dos sítios *web*, a nível mundial, não segue as normas propostas, impossibilitando a navegação a utilizadores com necessidades especiais.

À medida que aumenta a distância à informação de domínio mais genérico, o problema adensa-se, nomeadamente em áreas de teor científico como as ciências naturais, sociais, engenharias, entre outras. Um ponto comum à grande maioria destas áreas é a matemática, daí que se justifique que uma abordagem em busca de respostas razoáveis a estas questões tenha esta como ponto de partida.

De entre as várias iniciativas existentes, na tentativa de uniformizar a informação contida em fórmulas escritas em notação lógico-matemática, geralmente opta-se pelo uso do MathML[4], em grande medida pelo recurso que este faz à tecnologia XML[5], facilmente interpretada por múltiplas plataformas das mais variadas origens [6].

No trabalho que se apresenta pretende-se fazer face às dificuldades previamente descritas, através de uma aplicação cujo objectivo principal é a transformação de simbologia matemática em formato MathML para LN, interpretável pelos vários dispositivos acima mencionados.

Pretende-se, igualmente, normalizar a vocalização das palavras geradas, tendo sido para este efeito adoptado o SSML[7] como formato padrão para a representação sonora.

Apesar do projecto parecer apenas estar vocacionado para o caso exposto, é também passível de uma adaptação a outras áreas, tais como apoio ao ensino e à investigação, nomeadamente através de aplicações para leitura automática de enunciados, digitalização de porções de manuais escolares ou aprendizagem da simbologia lógico-matemática.

É razoável admitir que no contexto actual de desenvolvimento, e aquando de uma generalização deste tipo de programas, estes poderão evoluir de forma a suportar funcionalidades inversas, tais como registo digital de fórmulas matemáticas tendo como origem a voz humana, reformulando assim todo o paradigma de interacção pessoa-computador.

O presente documento começa por apresentar a planificação delineada no sentido de desenvolver uma solução capaz de responder às problemáticas expostas. Na secção seguinte é realizado um estudo comparativo, de algumas ferramentas neste domínio. Na secção 3 são apresentados os dialectos anotados utilizados no projecto, cujos detalhes mais relevantes a nível da implementação dos processos são mencionados na secção 4. Por fim na secção 5 são discutidos os resultados obtidos, e apresentados possíveis desenvolvimentos futuros.

1.1 Plano

Numa primeira fase, foi contemplada a tradução de MathML em LN anotada. Esta fase envolveu o estudo e compreensão do formato MathML, assim como um estudo pouco aprofundado da língua portuguesa, por forma a gerar expressões correctas, tanto do ponto de vista matemático como do ponto de vista gramatical, sintático e semântico. Após esta primeira fase, o conteúdo produzido é já passível de ser interpretado por uma qualquer ferramenta de *text-to-speech*[8],

tendo mesmo sido incorporadas no projecto tais capacidades de vocalização do texto produzido.

Na fase posterior, foi contemplada a codificação da LN previamente produzida no dialecto SSML. Para tal, foi necessário o estudo do formato, nomeadamente da forma em como este é utilizado para a síntese de voz. Assim, foi possível gerar documentos em formato SSML, a partir da tradução anteriormente gerada, passíveis de serem interpretados pelas ferramentas adequadas.

Por último foi realizado um estudo linguístico por forma a adaptar o conteúdo produzido com as necessidades de percepção do ser humano. Foi igualmente desenvolvida uma interface gráfica que facilita o acesso às várias funcionalidades oferecidas pela ferramenta. De notar que o conteúdo SSML produzido segue as normas propostas pelo W3C para a sua correcta formação.

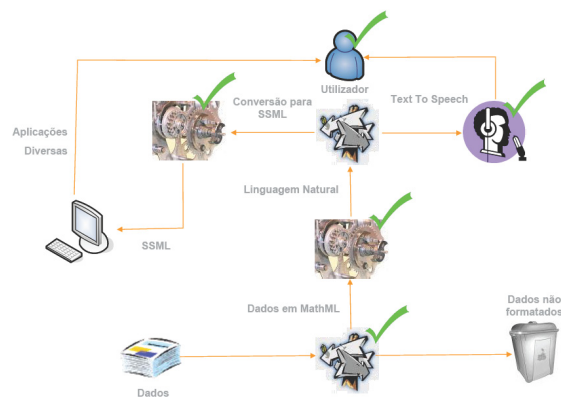


Figura 1. Diagrama Esquemático Representativo das Fases do Projecto

2 Estado da Arte

Existe actualmente uma panóplia de aplicações disponíveis, sendo que em todas elas se encontram aspectos positivos, muito embora na maioria dos casos estes sejam ofuscados pelas limitações inerentes. Verifica-se na maioria dos casos uma certa falta de autonomia, face à necessidade de bibliotecas, serviços do sistema operativo ou software específico.

Dos sistemas com capacidade de interpretar informação matemática, nem todos oferecem funcionalidades no sentido de vocalizar tais conteúdos, e, quando o fazem, o som produzido não é completamente perceptível. Dado que são sistemas orientados à LN, estão estritamente ligados ao idioma em causa, o que obviamente limita a correspondente divulgação noutros idiomas.

Do ponto de vista da introdução de dados, o universo do reconhecimento e processamento de LN não tem conhecido nos últimos anos uma evolução

apreciável, consequência da elevada carga de processamento necessária à obtenção de respostas a pedidos em tempo útil.

2.1 Exemplos Aplicacionais

No contexto exposto, descrevem-se, sucintamente, algumas ferramentas que procuram ilustrar os aspectos referidos.

AudioMath[24] Sendo disponibilizadas ao público apenas capacidades de tradução de páginas e fórmulas matemáticas em LN textual, o AudioMath é inovador na medida em que consegue melhorar a qualidade no que diz respeito à representação, flexibilidade, manipulação e acessibilidade de dados matemáticos, e no que diz respeito à navegação neste tipo de conteúdos, quando comparado com outras aplicações idênticas. Na sua sequência de processamento, começa por gerar uma versão textual do conteúdo matemático por ele interpretável, incluindo abreviaturas, numerais, acrónimos e referências de rede. A partir daí produz um fluxo de dados áudio correspondentes à vocalização do texto em Inglês [9]. Apesar de bastante completa, a aplicação carece de uma maior estruturação, a nível de conteúdos produzidos, na medida em que ao texto produzido não parece estar associada qualquer tipo de anotação normalizada ou controlo fonético/semântico.

Lambda Project[26] Projecto subsidiado pela União Europeia, com o intuito de tornar a matemática acessível a estudantes invisuais, o seu protótipo é actualmente disponibilizado sob a forma de um editor gráfico de fórmulas matemáticas com capacidades de vocalização das mesmas. No entanto a vocalização passa por chamadas a serviços externos e pré-existentes, não sendo garantida a validade lógico-matemática das expressões em causa.

MathPlayer[27] Disponibilizado sob a forma de um *plugin* para Microsoft®Internet Explorer (IE) 6.0 ou superior, revela desde logo uma falha: a sua não universalidade. Apesar do IE ser um dos *browsers* mais utilizados a nível mundial, representando cerca de 62,5% do total de utilizadores em Outubro de 2006, subsistem ainda os restantes 37,5%[17].

De salientar a impossibilidade de salvar guardar, em qualquer tipo de formato, a conversão efectuada aquando da vocalização.

Como funcionalidades chave, o MathPlayer apresenta as fórmulas graficamente, podendo o utilizador comutar entre dois níveis de ampliação do conteúdo, realizando ainda a vocalização, apesar da voz sintetizada ser pouco perceptível.

2.2 Conclusão

Como se pode verificar, as aplicações existentes estão ainda em fase de desenvolvimento, apresentando funcionalidades ainda limitadas, e por vezes complementares entre aplicações.

3 Dialectos

Neste ponto é realizada uma abordagem geral aos dois dialectos centrais da ferramenta desenvolvida e posteriormente expostas algumas particularidades consideradas relevantes para o projecto, sendo igualmente referidos alguns exemplos.

3.1 MathML

Coloca-se desde há muito o problema da representação digital e transmissão de informação referente a fórmulas matemáticas. Até ao aparecimento de outras soluções, tais dados eram transmitidos, na sua maioria, sob a forma de imagens, sendo impossível reaver o conteúdo original, ou ainda em formato textual, não possuindo a forma desejável ou uma legibilidade aceitável.

O MathML surge assim como uma forma de fornecer resposta à problemática descrita, capturando ao mesmo tempo forma e conteúdo, permitindo ainda a transmissão e edição da informação matemática. Trata-se de um dialecto bastante rico, contemplando um vasto leque de operadores lógicos e matemáticos, tornando-se assim extremamente flexível e adaptável, o que lhe valeu uma rápida divulgação e aceitação por parte da comunidade.

Por se focar numa área tão universal como a matemática, existe inerentemente um alargado conjunto de campos de aplicação nos quais o MathML surge como uma imprescindível ferramenta de suporte. Uma das áreas que mais se destaca é a do ensino e investigação, onde assume um papel vital, uma vez que a matemática é usada em variadíssimos campos, como a engenharia e a economia, não esquecendo a medicina e a saúde, ou mesmo as ciências sociais.

Exemplo de Aplicação

Browsers - Permitem a representação de fórmulas matemáticas, com interpretação via extensões ou *plugins*, tendo a vantagem de as fórmulas serem facilmente editáveis, e partilháveis na *web*.

Editores - Permitem a criação e edição de fórmulas matemáticas em formatos facilmente transponíveis e interpretáveis para outras plataformas. São vulgarmente integrados em ambientes de desenvolvimento de mais alto nível, com suporte à integração de DTDs [12], neste caso específico, o MathML.

Computação Científica - Permitem a exportação de resultados de cálculos de teor científico para formato XML facilmente integrável com outras aplicações.

Motores de Rendering - Permitem a transformação da informação formal matemática expressa no dialecto para formatos de imagem ou similar. Nesta gama de aplicações, encontram-se as bibliotecas que, mediante um ficheiro anotado em MathML, produzem um outro em formato de imagem do tipo gif, png, jpeg, bmp, tiff ou semelhante. São também enquadráveis neste âmbito projectos que se baseiam na conversão do formato MathML para SVG [23].

Conversores - Incluem-se neste caso aplicações que realizam a conversão do formato MathML para outros, não necessariamente em XML, nos quais se procura a informação inerente, sendo aceitável considerar que são formatos

concorrentes do dialecto, muito embora na sua generalidade com menor visibilidade ou aceitação, sendo talvez de ressaltar a excepção do \LaTeX [10]. A título de exemplo, é de salientar um conjunto de ferramentas que realizam a conversão entre MathML e \LaTeX , útil na produção de documentos formais.

Acessibilidade - Neste ponto são enquadráveis o conjunto de aplicações mencionadas anteriormente, nas quais se pretende facilitar o acesso à informação matemática por parte de indivíduos com necessidades especiais.

3.2 VoiceXML

O VoiceXML teve a sua origem em 1995, numa tentativa da AT&T [16] para desenvolver uma ferramenta facilitadora do reconhecimento da fala. Foi posteriormente desenvolvido, de forma a suportar diversas funcionalidades, como síntese e reconhecimento de voz, suporte a ficheiros de áudio, controlo de diálogo e de sessões telefónicas.

É maioritariamente utilizado pela indústria de telecomunicações no fornecimento de serviços informativos e automação de procedimentos de atendimento ao cliente [28]. É também frequentemente um auxiliar na relação entre humano e computador, especialmente por pessoas com necessidades especiais, permitindo um controlo operacional e aplicativo. No ramo da medicina é também utilizado na correcção de dificuldades na fala em crianças, especialmente problemas de dislexia [29], assim como no controlo de instrumentos de auxílio a cirurgia [30]. Para o projecto recorreu-se ao dialecto SSML, base do VoiceXML, pois este contém já todas as características relevantes para o âmbito pretendido.

Exemplo de Aplicação

Reconhecimento de Fala - Objectivo primário na base do desenvolvimento do VoiceXML, aplicações capazes de reconhecimento de fala, o mais independentemente possível de sotaques, ou variações entre indivíduos.

Síntese de Voz - Aplicações baseadas em VoiceXML desenvolvidas com o intuito de melhorar a qualidade de síntese de voz face aos tradicionais sistemas de *text-to-speech*, nomeadamente no que respeita a diferenças regionais de sotaque, entoações, pausas, e outros elementos meta-linguísticos, podendo ainda incluir ficheiros de áudio pré-gravados.

Controlo de Diálogo e Chamadas Telefónicas - Inserem-se aqui ferramentas utilizadas pela indústria de telecomunicações, para atendimento automatizado de clientes, simulando um operador humano, capaz de comunicar com o cliente o mais naturalmente possível.

3.3 Conclusão

Em suma verifica-se que existe já uma panóplia de aplicações que têm como base um dos dois dialectos apresentados. Todavia a diversidade de ferramentas disponíveis dirigidas ao MathML é superior à referente no outro dialecto apresentado, algo que se justifica com as características universais da matemática

aliadas às necessidades emergentes das várias áreas científicas em representar o seu conhecimento intrínseco de forma digital.

4 Aplicação

Nesta secção é descrita de forma mais detalhada a estrutura organizacional da ferramenta e expostos alguns dos seus aspectos críticos em termos da sua arquitectura interna.

4.1 Arquitectura

Na arquitectura modular adoptada para o desenvolvimento do projecto, são identificáveis um conjunto de três camadas distintas – Interface, Lógica de Negócio, Acessos a Ficheiros – conforme ilustrado na Figura 2. Para além desta divisão de alto nível foi igualmente realizada uma divisão lógica das várias classes em pacotes significativos. No sentido de estruturar correctamente o código da aplicação,

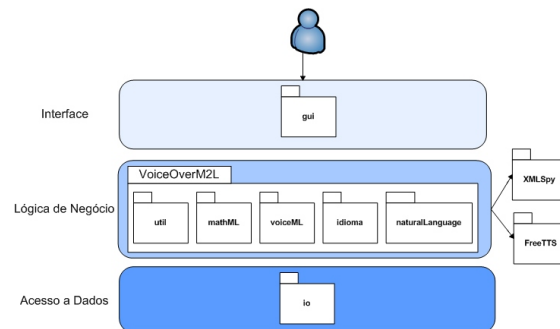


Figura 2. Diagrama de Camadas Ilustrativo da Arquitectura do VoiceOverM²L

o mesmo encontra-se dividido num conjunto definido de unidades funcionais.

VoiceOverM²L Neste pacote encontra-se a classe nuclear de todo o programa, responsável pela coordenação dos múltiplos fluxos de dados entre os restantes pacotes.

GUI Neste pacote encontra-se um conjunto de classes responsável pela geração da interface gráfica e respectivo tratamento de eventos gerados pelos dispositivos de entrada.

MathML Neste pacote encontram-se as classes que geram a conversão de MathML para formato textual, recorrendo para tal aos pacotes de IO e Idioma.

Idioma Neste pacote encontra-se o conjunto de classes que realiza conversão de números e símbolos provenientes do universo restrito do dialecto MathML, convertendo-os para os seus congéneres textuais no idioma pretendido.

NaturalLanguage Neste pacote encontram-se classes responsáveis pelos aspectos fonéticos e conotativos do texto produzido. Assim, é neste ponto que são definíveis as características gerais do orador, a nível de idioma utilizado, sexo e idade, bem como características de elementos textuais específicos, como velocidade de leitura, pausas e timbre utilizado.

VoiceML Neste pacote encontram-se classes responsáveis pela vocalização do texto produzido, utilizando o pacote FreeTTS. Inclui igualmente as classes responsáveis pelo processamento e conversão em formato SSML. É de salientar o facto de características como pausas e entoação não terem ainda os seus valores devidamente afinados, por não se ter realizado ainda o estudo sobre o seu efeito na reprodução final.

Util Pacote de classes destinadas a implementar estruturas de dados cuja finalidade é a agregação dos resultados das chamadas a métodos de outras classes e pacotes.

IO Neste pacote encontram-se as classes responsáveis pela leitura de ficheiros no formato XML, posterior validação segundo *Schema* ou DTD definido e pré-processamento da árvore estrutural. Posteriormente o pacote irá conter classes responsáveis pela conversão em SSML do conteúdo textual produzido.

4.2 Tecnologias

Para o desenvolvimento do projecto foi utilizada uma linguagem de programação orientada a objectos, mais especificamente o Java (versão 1.5) [22], suportado pelo IDE Eclipse 3.1 [21].

Dado que a aplicação envolve manipulação de documentos em formato XML, é utilizada a interface externa do Altova XML Spy 2006 [20] para o processamento dos mesmos, acedida através da biblioteca disponibilizada para o efeito no pacote de instalação. Entre as potencialidades disponibilizadas pela biblioteca, são utilizados os procedimentos de validação de ficheiros segundo um dado *Schema* [13] ou DTD, leitura sequencial de etiquetas, de acordo com a estrutura do documento, e ainda geração de ficheiros para o dialecto SSML.

O projecto inclui ainda duas bibliotecas externas com objectivos específicos:

- O NumericalChameleon [32] é uma aplicação *open source* completa, em Java, que realiza múltiplas conversões numéricas, podendo ser os elementos alvo de conversão de natureza e idioma variados. No desenvolvimento da ferramenta foram utilizados os componentes responsáveis pela conversão de um dado literal para texto nos dois idiomas alvo: Português padrão (PT-PT) e Inglês dos Estados Unidos (EN-US).

- O FreeTTS [31] é um projecto *open source* de síntese de voz, a partir de vários formatos, incluindo também funcionalidades de reconhecimento de voz. No projecto são utilizadas as funcionalidades de reprodução vocal de blocos de texto representando a tradução em LN de fórmulas matemáticas. O pacote está optimizado para inglês, pelo que a reprodução em outros idiomas poderá não ser perfeita, no que concerne a questões de sotaque e entoação.

4.3 Processamento dos Formatos Anotados

Introdução Tendo em conta que todos os dados de entrada a processar se encontram em formato XML, mais concretamente no dialecto MathML, considerouse útil recorrer a ferramentas de manipulação especializada em dados desta natureza. Para tal efeito, a aplicação de eleição foi o XML Spy da Altova, não só pela capacidade de manipulação e tratamento de informação no referido formato, mas também pela facilidade de geração de código de tratamento auxiliar (Figura 3-A), integração com a plataforma adoptada (Figura 3-B) e disponibilização de bibliotecas de tratamento e acesso a dados em formato XML. A destacar igualmente os bons níveis de desempenho proporcionados pela ferramenta.

Conversão MathML para LN Sendo os dados de entrada documentos normalizados segundo o dialecto MathML e tendo por objectivo último a sua descodificação e consequente tradução para LN, numa primeira instância para a língua portuguesa, possibilitando contudo fácil adaptabilidade a idiomas diversos, a abordagem natural passa por um conjunto estrito de etapas segundo a sequência que seguidamente se apresenta. Inicia-se o processo pela validação dos

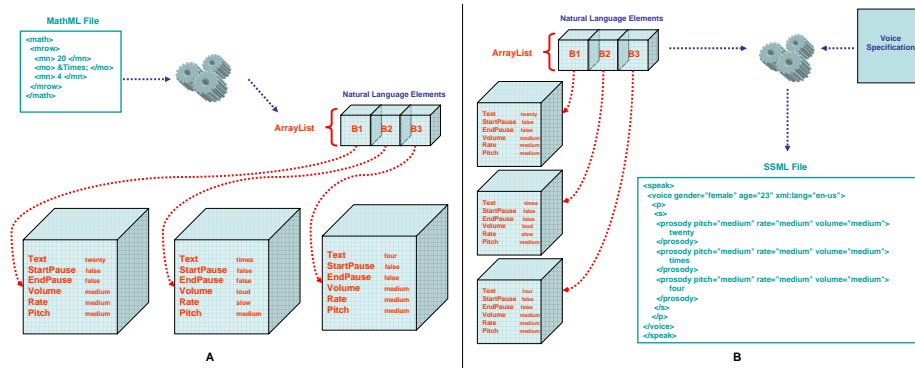


Figura 3. A-Conversão para Linguagem Natural B-Conversão para SSML

dados de entrada, recorrendo-se para tal a bibliotecas auxiliares fornecidas pelo ambiente de desenvolvimento seleccionado, ao que se segue a conversão da estruturação em MathML para uma outra equivalente, estando porém a informação

representada segundo o paradigma orientado a objectos, cumprindo obrigatoriamente a relação entre elementos e respectiva caracterização através dos tipos.

Neste ponto podem-se distinguir três etapas de maior relevo: identificação de elementos, respectivos tipos e sua relação com outros elementos.

No sentido de alcançar com sucesso os pontos descritos, tomam-se em conta os seguintes aspectos:

- Estabelecimento da correspondência entre a componente simbólica e a componente ligada à LN, utilizando para tal, e numa primeira fase, uma matriz de correspondência entre símbolos matemáticos e respectiva tradução.
- Correcta definição das várias características do vocábulo a proferir, não só a nível do termo a empregar na tradução de um dado símbolo matemático, mas também na questão da fonética, tomando em atenção a entoação específica requerida em determinadas situações, bem como informação sobre os tempos e pausas no discurso. Trata-se de um ponto que se reveste de extrema importância para o sucesso da vocalização. Por conseguinte, o esquema de dados resultante do processo contém não só a sequência de termos, como também meta informação fonética.

Conversão de LN para SSML É de salientar o facto do texto produzido em LN ser estruturalmente composto pela sequência de vocábulos, respectivas entoações e pausas. Deste modo, tornou-se necessário proceder a uma análise do esquema de dados que representa esta realidade e respectiva tradução para o formato SSML.

Para tal efeito, recorreu-se uma vez mais às bibliotecas disponibilizadas pelo XML Spy, de forma a produzir documentos válidos em formato SSML. Assim na primeira etapa deste processo é carregada a árvore estrutural de ficheiros deste tipo dada por um ficheiro base no formato em causa. Esse mesmo ficheiro é parte integrante do pacote da aplicação e por defeito não tem permissão de escrita. Posteriormente é criada uma nova árvore conceptualmente semelhante, mas mais extensa, em que as etiquetas produzidas espelham por um lado as opções tomadas pelo utilizador referentes às características fonéticas tais como: idade, sexo, idioma e por outro a especificidade dos elementos textuais correspondentes aos vários elementos provenientes do ficheiro original de entrada em formato MathML. Este processo é descrito na Figura 3-B.

Estes documentos podem ser alvo de processamento por aplicações externas, que se encarregam do respectivo processamento e eficaz reprodução do discurso codificado. A Figura 4 exemplifica como accionar o processamento completo de um ficheiro MathML previamente carregado, através da interface gráfica.

5 Conclusões

5.1 Satisfação de Objectivos

No planeamento inicial do projecto foram delineados vários objectivos, sendo que se considera que todos eles foram satisfatoriamente cumpridos.

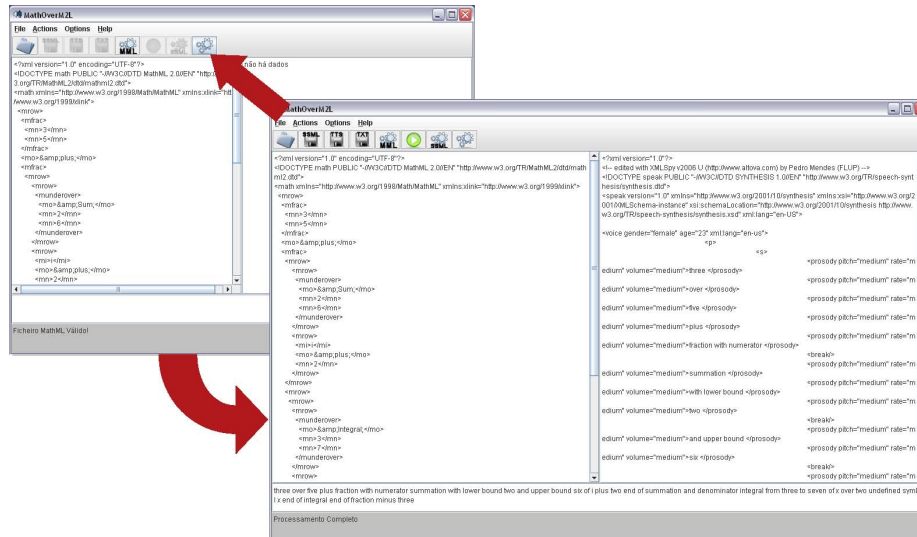


Figura 4. Accionamento do Processamento Completo de um Ficheiro em MathML

A leitura e validação de ficheiros em formato MathML segundo um determinado *Schema* ou DTD encontram-se finalizadas.

O processo de conversão de MathML para LN encontra-se também ele concluído, suportando operações aritméticas simples, operadores complexos tais como produtivo e somatório, operador expoente, integrais simples, fracções, raízes, todo o tipo de agregadores, funções trigonométricas e ainda identificadores incluindo o alfabeto grego.

A reprodução vocal do texto produzido encontra-se igualmente terminada, sendo que para tal se recorreu ao sintetizador de voz incluído no FreeTTS.

A conversão dos elementos textuais referentes a uma dada fórmula, para formato SSML, encontra-se também concluída suportando, tal como a reprodução vocal, dois idiomas, português e inglês.

Por último, foi igualmente desenvolvida uma interface gráfica, dentro dos actuais padrões de usabilidade, de suporte à aplicação.

5.2 Melhorias Futuras

No desenvolvimento deste tipo de ferramentas, encontram-se facilmente múltiplas extensões e melhoramentos. Dado que o código produzido apresenta elevados nível de modularidade, a expansibilidade para adição de mais idiomas seria uma forma de aumentar o nicho de possíveis utilizadores da ferramenta. Pelos mesmos motivos a expansão do domínio matemático para áreas mais específicas como a lógica ou teoria de conjuntos é igualmente possível. No sentido de afinar os parâmetros que controlam tanto a vocalização do texto como a produção

dos ficheiros em SSML, seria necessário um estudo aprofundado no domínio da linguística para cada um dos idiomas a considerar.

Referências

1. Long, Byron: Natural Language as an Interface Style - <http://www.dgp.utoronto.ca/people/byron/papers/nli.html>
2. W3C - <http://www.w3c.org>
3. Web Accessibility Initiative (WAI) - <http://www.w3.org/WAI/>
4. MathML - <http://www.w3.org/TR/2001/REC-MathML2-20010221/>
5. XML - <http://www.w3.org/XML/>
6. Bradley, N.: The XML Companion Third Edition Addison Wesley (2001)
7. SSML Overview- <http://www.w3.org/TR/speech-synthesis/>
8. Microsoft Text To Speech Engine - <http://www.microsoft.com/reader/developers/downloads/tts.asp>
9. Ferreira, H., Freitas, D.: AudioMath - using MathML for speaking mathematics (2005)
10. Lamport, L.: A Document Preparation System 2nd Edition Addison Wesley (1994)
11. Mayer, M.: Lógica, Linguagem e Argumentação. Lisboa. Ed. Teorema (1992)
12. DTD - <http://www.w3schools.com/dtd/>
13. Schema - <http://www.w3.org/XML/Schema/>
14. History of MathML - <http://www.mathmlcentral.com/history.html>
15. VoiceXML - <http://www.w3.org/Voice/>
16. VoiceXML Overview- <http://www.w3.org/TR/voicexml20/>
17. Browser statistics - http://www.w3schools.com/browsers/browsers_stats.asp
18. Conferência XATA 2005 - <http://vecpar.fe.up.pt/xata2005/programme.html>
19. XML Spy Code Generation Features - http://www.altova.com/features_code.html
20. Altova XML Spy - http://www.altova.com/products_ide.html
21. Eclipse - <http://www.eclipse.org/>
22. Linguagem Java - <http://java.sun.com/>
23. Scalable Vector Graphics - <http://www.w3.org/TR/SVG/>
24. AudioMath Leitura Automática de Expressões Matemáticas - <http://lpf-esi.fe.up.pt/~audiomath/>
25. sMarTH online equation editor - <http://smarth.sourceforge.net/>
26. Lambda Project - <http://www.lambdaproject.org/>
27. MathPlayer - <http://www.dessci.com/en/products/mathplayer/>
28. Telisma - <http://www.telisma.com/>
29. Guide to Good Practice for learning and teaching in Languages, Linguistics and Area Studies - <http://www.lang.ltsn.ac.uk/resources/goodpractice.aspx?resourceid=1411>
30. VoiceXML Medical Application - http://www.voicexml.org/success_stories/ibm_mch_success.html
31. Free Text To Speech Engine - <http://freetts.sourceforge.net/docs/>
32. NumericalChameleon - <http://www.jonelo.de/java/nc/>