

MannAR: um método de interpretação de imagens de autômatos aplicado às tecnologias assistivas para deficientes visuais

Lailla Milainny Siqueira Bine¹, Linnyer Beatrys Ruiz (orientadora)¹

¹ Departamento de Informática – Universidade Estadual de Maringá (UEM)
Maringá – PR – Brazil

lailla.milainny@gmail.com, lbruiz@uem.br

Resumo. *Este trabalho apresenta o desenvolvimento do MannAR, um método de interpretação de imagens de autômatos que busca prover autonomia para alunos com deficiência visual. Atualmente, a maioria dos trabalhos disponíveis na literatura permitem a criação e edição de autômatos por deficientes visuais, mas não dão acesso a imagens que já existem, e.g. em sites e materiais didáticos. A proposta do MannAR consiste em reconhecer os objetos da imagem ao mesmo tempo que provê o significado de cada um. Como prova de conceito, foi elaborado o protótipo MannAR-FA para autômatos finitos. Foi realizado um teste quantitativo com uma base de imagens de autômatos (acurácia de 72,5%) e um teste de acessibilidade / usabilidade com deficientes visuais.*

Abstract. *This work presents the MannAR developement, an automaton image interpretation method that seeks to provide autonomy for students with visual impairment. Currently, most works available in the literature allow the creation and editing of automata by the visually impaired, but do not give access to images that already exist, e.g. on websites and teaching materials. The purpose of MannAR is to recognize the image objects while providing the meaning of each one. As proof of concepts, the MannAR-FA prototype for finite automata was elaborated. A quantitative test with an automata image base (accuracy of 72.5%) and an accessibility / usability test with the visually impaired was performed.*

1. Introdução

A Ciência da Computação é uma escolha popular entre os alunos com deficiências porque, em muitos casos, o computador permite que eles realizem atividades que de outra forma não estariam disponíveis [Pansanato et al. 2012]. No caso dos deficientes visuais, um dos maiores desafios está relacionado a conteúdos que envolvem abstrações didáticas utilizando imagens e diagramas, como é o caso das disciplinas: Grafos, Estrutura de Dados, Engenharia de Software, Teoria da Computação, entre outras [Luque et al. 2018].

Na literatura encontram-se esforços da comunidade para auxiliar a criação e manipulação de diagramas, relacionados à Ciência da Computação, por deficientes visuais, como os trabalhos desenvolvidos pelos autores: [Pansanato et al. 2012], [Crescenzi et al. 2012], [Balik et al. 2013] e [Luque et al. 2016]. Apesar da existência das ferramentas citadas, essas não realizam a descrição de imagens e não se preocupam

em dar acessibilidade a imagens de diagramas já existentes na literatura, como as presentes em páginas web, livros e materiais elaborados por professores. Devido à área de Teoria da Computação ser considerada fundamental para o bom desempenho no curso de Ciência da Computação, optou-se por definir o escopo deste trabalho em imagens digitais de diagramas de estados de transição de mecanismos reconhecedores de linguagens formais.

De acordo com o Artigo 5 da Constituição Federal Brasileira (1988), todos os indivíduos são iguais, sem qualquer tipo de distinção. Portanto, os alunos com deficiência possuem o direito de ter acesso aos mesmos recursos que todos os outros discentes, o que nem sempre acontece no caso das imagens disponibilizadas em materiais didáticos [Luque et al. 2018]. O reconhecimento de imagens é um processo complexo, pois envolve diferentes sub-tarefas, como o reconhecimento dos objetos, de suas relações e a construção do significado que a imagem representa. Esta área se relaciona com diversos campos da Ciência da Computação como a Visão Computacional, o Processamento de Imagens Digitais e a Inteligência Artificial.

Assim, o objetivo geral deste trabalho é desenvolver um método de tradução de diagramas de estados de transição de mecanismos reconhecedores de linguagens formais utilizados na disciplina de Teoria da Computação, denominado MannAR¹. Alguns dos objetivos específicos são: elaborar um protótipo que utilize o método desenvolvido; investigar a melhor abordagem para que a tradução realizada seja acessível e útil para deficientes visuais, quando estes são estudantes de Ciência da Computação, promovendo a autonomia do aluno; integrar o protótipo construído com ferramentas que possam ser utilizadas pelos usuários para manipular e navegar pelos diagramas reconhecidos; e realizar testes de casos de uso com usuários deficientes visuais.

Práticas que auxiliam uma pessoa com deficiência, seja ela qual for, e buscam autonomia, inclusão social e qualidade de vida desse indivíduo são denominadas Tecnologias Assistivas [Brasil 2009]. A acessibilidade não está só relacionada com conceitos físicos, ela também se preocupa com a acessibilidade no espaço digital. Esta consiste em tornar disponível ao usuário, de forma autônoma, toda a informação, sem prejuízos quanto ao conteúdo [Torres et al. 2002].

Alguns critérios podem nortear o desenvolvimento de Tecnologias Assistivas, a saber: os padrões de acessibilidade da W3C (*World Wide Web Consortium*), as heurísticas de usabilidade de Nielsen [Nielsen 1994] e o Design Universal. Segundo Henry et al. [Henry et al. 2014], embora o foco da acessibilidade seja a deficiência, a pesquisa e desenvolvimento em acessibilidade trazem benefícios para todos.

2. Diagramas de estados de transição

A Teoria da Computação é considerada a base da Ciência da Computação e estuda modelos computacionais genéricos para especificar qualquer função computável e seus limites [Diverio and Menezes 2009]. Entre esses modelos estão os reconhecedores de linguagem conhecidos como Máquinas de Turing (MT), Autômatos Finitos (AF) e Autômatos de Pilha (AP).

Apesar de existirem alguns padrões na forma como os reconhecedores de lingua-

¹junção do nome do grupo *Manna* com *Automata Recognition* (Reconhecimento de Autômatos)

gens podem ser representados em imagem, têm-se muitas variações relacionadas ao estilo do desenho, como por exemplo, o formato do *loop*, tipo de linha utilizada na flecha (linha reta ou curva) e forma da flecha. Outro elemento que possui variações é a representação do rótulo da transição. Apesar dessa variação não ser comum para AFs, ela é bastante presente nos APs e nas MTs, pois cada autor ou sistema utiliza uma forma diferente de representar os elementos da descrição de uma transição. Por exemplo, Vieira [Vieira 2006] utiliza o padrão $(a, b/x)$, enquanto Sipser [Sipser 2006] utiliza o padrão $(a, b \rightarrow x)$ para representar as descrições das transições em APs.

3. Tecnologias Assistivas para Deficientes Visuais

O desenvolvimento de softwares com acessibilidade é norteado por guias, princípios e padrões de acessibilidades. Nesse trabalho, utiliza-se os princípios do Design Universal² que foi elaborado pelo Centro de Habitação Acessível (*Center for Accessible Housing*). Ao aplicar esse conceito na construção de um software deve-se buscar a inclusão, assim o software deve se adaptar e atender a todas as pessoas, ou a maioria possível.

Também utiliza-se neste trabalho, o guia de desenvolvimento acessível Web Content Accessibility Guidelines 2.0 (WCAG)³ criado pela W3C, principal organização de padrões Web. Esse documento destaca que as avaliações são uma parte importante do processo de acessibilidade. O W3C sugere que se realize uma serie de validações como: validação por meio de ferramentas automáticas; validação manual; e testes com usuários reais.

A usabilidade do sistema é um fator importante no desenvolvimento com acessibilidade, pois por meio dela é possível avaliar quão fácil é a realização de tarefas no sistema. Para avaliar este ponto utilizou-se as Heurísticas de Usabilidade de Nielsen [Nielsen 1994], que possuem um foco maior no usuário do que nos métodos de desenvolvimento empregados.

4. Reconhecimento automático de diagramas

Na literatura, não são encontrados muitos trabalhos que possuem como objetivo a descrição automática de imagens de diagramas. Porém, um survey apresentado por Bhowmick e Hazarika [Bhowmick and Hazarika 2017] apresenta o tópico “descrição da imagens” como uma tendência na área de tecnologias assistivas para deficientes visuais.

Apesar de não possuir como foco a acessibilidade, os pesquisadores Karasneh e Chaudron desenvolveram o projeto Img2UML [Karasneh and Chaudron 2013], que consiste de uma ferramenta que converte automaticamente imagens de diagramas de classe UML (*Unified Modeling Language*) para o formato XMI (*XML Metadata Interchange*). Para realizar o reconhecimento de diagramas de classe (símbolos e linhas) os autores utilizaram o *framework* Aforge.NET⁴, já para a identificação do texto foi utilizada a biblioteca para OCR (*Optical Character Recognition*) denominada MODI (*Microsoft Office Document Imaging*).

Com a utilização do Aforge.NET algumas limitações ocorreram como: a identificação de um diagrama se ele contiver apenas linhas retas entre duas classes e

²<http://universaldesign.ie/What-is-Universal-Design/The-7-Principles/>

³<https://www.w3.org/WAI/standards-guidelines/wcag/>

⁴<http://www.aforgenet.com/>

se estiver no formato *StarUML*. Já, o método MannAR não se restringe a um modelo específico, possibilitando que a solução abranja um número maior de instâncias. Para realização dos testes os autores utilizaram 10 imagens de diagramas de classes de tamanho e resolução diferentes. Os resultados apresentaram uma acurácia de 100% para o reconhecimento de classes, 97% para o reconhecimento de relações e 85% para o reconhecimento de símbolos.

Já o trabalho de Babalola [Babalola 2015], apresenta um sistema para o reconhecimento de diagramas de autômatos finitos. A metodologia do autor consiste em encontrar todos os pontos de junção entre dois objetos na imagem, realizar a separação desses objetos e então os classifica em: círculos, linhas retas, curvas e texto. O autor utiliza *features* como a área do objeto, solidez (área dividida pela área convexa, sendo esta segunda o número de *pixels* compreendidos na envoltória convexa de um objeto) e excentricidade (razão entre os valores do maior e do menor eixo das coordenadas).

Após a classificação, Babalola realiza uma análise espacial na imagem para construir as relações entre os objetos que foram separados. Três imagens foram utilizadas para testar o sistema. Para cada uma, o autor coloca como resultado o número de círculos na imagem, o número de arcos e o número de caracteres detectados, sendo que as três imagens testadas apresentaram um bom desempenho, pois poucos objetos não foram reconhecidos. Um fator crítico é a questão da utilização de poucas imagens nos testes (apenas três), o que sugere limitações no método Babalola quando se trata de padrões utilizados nos diagramas (forma como um estado ou uma transição é representada). Já para o método MannAR, é utilizada uma base de imagens de autômatos de diferentes formatos possibilitando uma maior confiabilidade da solução.

Também relaciona-se com o desenvolvimento do MannAR trabalhos que projetaram ferramentas de criação e manipulação de autômatos com acessibilidade para deficientes visuais, como é o caso da ferramenta GSK [Balik et al. 2013], um software que oferece um ambiente para que alunos com e sem deficiência visual possam trabalhar no mesmo projeto. Outro exemplo, é a versão acessível do JFLAP [Crescenzi et al. 2012], que permite a criação, edição e a simulação de autômatos. Essa última funcionalidade permite uma maior autonomia de todos os alunos.

O MannAR possibilita a utilização dessas ferramentas como versões alternativas de uma imagem de autômato, assim, após o reconhecimento de uma imagem, ela pode ser convertida para o formato aceito por um desses softwares, permitindo a manipulação da imagem convertida. Outra possibilidade, de versão alternativa, é uma versão tátil da imagem, assim é possível integrar a imagem convertida com ferramentas hápticas, como por exemplo o MannaHap.⁵

5. O método MannAR

Foram realizados dois processos preliminares à construção do método proposto com os objetivos de estudar técnicas que poderiam ser utilizadas no desenvolvimento e facilitar a construção do mesmo. O primeiro processo realizado fornece duas informações auxiliares: o tipo do autômato presente na imagem e a quantidade de estados que o autômato

⁵Um sistema háptico *Do It Yourself* de representação de imagens digitais para deficientes visuais, munido de um *display* de pinos *refreshable* que está sendo desenvolvido na Universidade Estadual de Maringá.

possui. Obter essas informações previamente colabora para a construção de um método mais eficiente e preciso. Para isto, foram construídos dois modelos de classificação utilizando redes neurais convolucionais (CNN), um para cada informação. Os detalhes dessa etapa do trabalho podem ser encontrados em [Bine et al. 2018].

A segmentação correta dos círculos, que representa os estados, permite a separação de praticamente todos os demais objetos na imagem que estavam ligados a algum outro objeto, por isto essa etapa é considerada o cerne do MannAR. Assim, o segundo processo foi a realização de um estudo sobre técnicas de identificação de círculos em imagens, no qual três métodos foram analisados: a transformada de Hough [DudaR and Hart 1972], o *Learning Automata* [Cuevas et al. 2013] e o *Haar Cascade* [Viola and Jones 2001]. Um dos desafios deste trabalho consiste na correta segmentação de cada objeto, por isso, o método proposto parte do objeto considerado o mais semelhante nas representações de imagens de autômatos, a saber, os estados.

Uma imagem de um autômato é composta por vários objetos. Assim, para realizar o reconhecimento é necessário identificar não só os objetos como também as suas relações. A Figura 1 apresenta a visão geral do método MannAR. A primeira etapa, que é o pré-processamento, possui como resultado o tipo do autômato e a quantidade de estados do autômato (utilizando os modelos de CNN produzidos) e duas imagens, uma em preto e branco e a outra com realce de bordas.

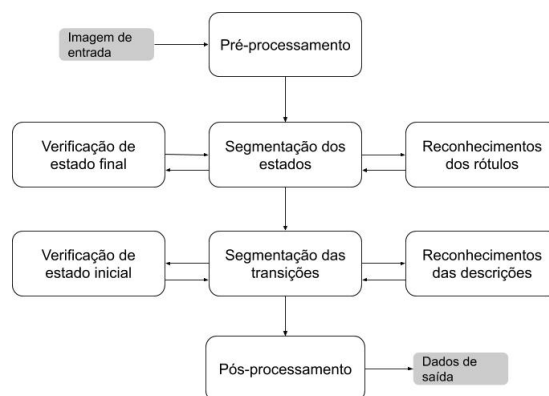


Figura 1. Visão geral do MannAR

Na sequência, tem-se a etapa de segmentação dos estados com a seguinte metodologia: localização dos círculos utilizando um método baseado na técnica *Learning Automata*, que foi desenvolvido para o contexto específico de identificação de círculos em imagens de autômatos; descoberta de quais círculos encontrados são estados finais utilizando análise de textura da região; segmentação da parte interna dos círculos para obtenção dos rótulos e envio dos mesmos para um sistema OCR externo; extração dos estados da imagem para separação dos demais objetos; validação dos estados encontrados, para verificar se algum *loop* foi reconhecido como estado.

Na próxima etapa, tem-se a segmentação das transições com os seguintes passos: busca em largura na imagem (sem os estados) rotulando os objetos restantes; extração das características de descrição do objeto, como área do objeto, tamanho dos eixos x, y da imagem, solidez e excentricidade; descoberta das transições que ligam dois estados e seus rótulos; descoberta do símbolo do estado inicial e dos *loops* com seus rótulos.

O diferencial do método MannAR encontra-se na realização da segmentação dos objetos em conjunto com a análise espacial do mesmo, ou seja, descobre-se o objeto e o seu significado ao mesmo tempo. Assim, como última etapa tem-se o pós-processamento onde é criada uma descrição sucinta para os estados e suas transições, por exemplo se foi reconhecido um estado que é final e o seu rótulo é *a*, a descrição será “estado final *a*”.

6. O protótipo MannAR para Autômatos Finitos

A primeira versão do protótipo foi denominada MannAR-FA (*Manna Automata Recognition - Finite Automata*). Sua construção foi norteada pelas diretrizes de desenvolvimento acessível da W3C. As versões destinadas a APs e MTs não estão contempladas no escopo desta dissertação considerando o tempo e o esforço de desenvolvimento.

O protótipo MannAR-FA consiste em um sistema Web, que permite ao usuário enviar uma imagem de Autômato Finito. Esta imagem é convertida para três versões alternativas. Em seu desenvolvimento foi implementado o método descrito na Seção anterior. O protótipo foi construído na linguagem Python na versão 3.6.4. Seguindo as diretrizes da W3C, foram adicionadas uma página de mapa do site e a opção de alto contraste. Na Figura 2, apresenta-se a diferença entre a página original (parte (a)) e a página utilizando o layout com alto contraste (parte (b)).

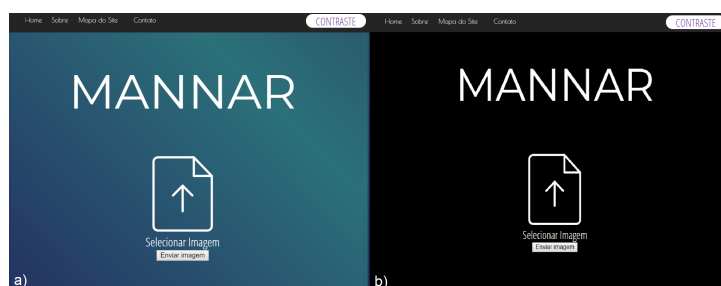


Figura 2. Diferença entre a página inicial com (b) e sem alto contraste (a)

Cada usuário possui habilidades, experiências e necessidades diferentes. Tal fato, influenciou a escolha de disponibilizar mais de um formato do autômato reconhecido como resposta. O primeiro formato, que é o arquivo .csv, visa a independência do usuário, pois dá liberdade para acessar o conteúdo utilizando diversos softwares e também permite que outros sistemas utilizem a resposta fornecida com facilidade.

O segundo formato, que é o arquivo .jff (arquivo da ferramenta JFLAP), é utilizado para que o sistema desenvolvido seja compatível com os princípios do Design Universal, já que a ferramenta JFLAP possibilita simulações e conversões de autômato que podem ser úteis para o estudo de qualquer pessoa, sendo ela com ou sem deficiência.

Por fim, o terceiro formato abordado é o arquivo .json, que possibilita que, desde que o usuário tenha acesso à ferramenta MannaHap, o entendimento do autômato possa ser complementado por meio do tato. Apesar destas escolhas, o sistema permite que sejam inseridos outros modelos de resposta.

7. Resultados

Os resultados estão divididos em três segmentos, a saber: resultados relacionados aos processos preliminares de elaboração do método MannAR, resultados de avaliação do

método MannAR e resultados de avaliação do protótipo MannAR-FA.

7.1. Processos preliminares para desenvolvimento do método MannAR

Os resultados relacionados ao processo de elaboração do método visam apoiar as decisões tomadas para a construção da versão final do MannAR. Dois tópicos foram estudados: o primeiro foi a construção de dois modelos de classificação utilizando CNN que fossem capazes de identificar em uma imagem quantos estados o autômato possuía, na qual obteve-se uma acurácia de 91,69% e qual era o tipo do autômato (AF, AP ou MT), com uma acurácia de 97,12%; o segundo foi um estudo sobre métodos de localização de círculo Hough, *Learning Automata* e *Haar Cascade*, no qual o método *Learning Automata* se destacou com um acurácia de 77,5%.

7.2. Avaliação do método MannAR

Para realização dos testes do método de reconhecimento de autômatos, foi construído o protótipo MannAR-FA. Cada teste exigiu uma verificação manual dos resultados, sendo esse um dos maiores desafios encontrados. Devido ao tempo demandado, foram selecionadas 10 imagens de AF de cada classe aleatoriamente (considerando a divisão por quantidade de estados), totalizando 80 imagens. Este conjunto de imagem foi denominado base AF80. As imagens selecionadas estão disponíveis em nossa página sobre o projeto MannAR⁶.

Nesta etapa, foi realizada uma análise quantitativa dos resultados. Os seguintes critérios foram considerados: acerto de todos os estados (AE); acerto de quais estados são finais/aceitação (AA); acerto de quais estados são iniciais (AI); acerto de todas as transições entre estados (AT); acerto de todos os *loops* (AL). Das 80 imagens analisadas, 58 (72,5%), obtiveram sucesso em todos os itens listados anteriormente. O critério com o menor número de acertos foi o de identificação de estados iniciais com 78,75% de acertos e com o maior número foi a identificação dos estados com 97,5% de acertos. Das 58 imagens que obtiveram sucesso apenas 12 foram reconhecidas corretamente no OCR externo (Python-tesseract⁷), tal fato ocorreu devido a dificuldade de identificar caracteres individuais.

Também realizou-se a comparação do método MannAR com o produzido por Babalola [Babalola 2015]. O trabalho apresentado por Babalola utiliza três imagens para realização dos testes. As mesmas imagens foram submetidas no MannAR-FA para efeitos de comparação. Os seguintes critérios foram analisados: número de círculos detectados na imagem (incluindo os círculos que representam o estado final); número de arcos detectados na imagem (transições, *loops* e símbolo de estado inicial); e quantidade de caracteres identificados na imagem. Dos nove itens analisados (três imagens × três critérios cada uma) o método de Babalola reconheceu corretamente três critérios (33,3%), já o MannAR reconheceu corretamente oito critérios (88,8%).

7.3. Avaliação da ferramenta MannAR-FA

A avaliação da ferramenta MannAR-FA se divide em três etapas, sendo elas: avaliação automática das diretrizes WCAG (utilizando um validador automático), testes realizados com deficientes visuais e testes de integração da ferramenta MannAR com o JFLAP.

⁶<https://sites.google.com/view/MannARproject>

⁷<https://pypi.org/project/pytesseract/>

A avaliação automática foi realizada subentendendo todas as páginas do MannAR-FA na ferramenta *Web Accessibility Checker*⁸ que se baseia nas diretrizes de acessibilidade WCAG da W3C. Ao todo são 128 pontos a serem analisados. Esta etapa foi realizada para todas as páginas que compõem a ferramenta MannAR-FA, sendo elas: index (página inicial), resultado (página que apresenta os resultados após o envio de uma imagem), contato, sobre e mapa do site. O mesmo resultado foi gerado para todas as páginas da ferramenta, sendo que nenhum item foi apontado como não atendido. Além disso, os itens foram verificados também de forma manual.

Já os testes com deficientes visuais foram divididos em duas etapas. A primeira avaliou a adequação da mesma com as diretrizes da WCAG, agora na perspectiva do usuário. A segunda etapa avaliou a usabilidade da ferramenta de acordo com Nielsen. Avaliar a usabilidade do sistema, na perspectiva do deficiente visual, visa a adequação da ferramenta a diferentes preferências e tipos de usuários. Esta etapa da avaliação foi aprovada pelo Comitê Permanente de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Estadual de Maringá (COPEP) no dia 20 de dezembro de 2018, com número de parecer de aprovação 3.098.506. Foram convidados todos os alunos, com algum grau de deficiência visual, participantes do Programa Multidisciplinar de Pesquisa e Apoio à Pessoa com Deficiência e Necessidades Educativas Especiais (PROPAAE), conforme autorização estabelecida pelo COPEP. Aceitaram participar do testes dois alunos que possuem baixa visão.

As etapas da avaliação com deficientes visuais foram: apresentação inicial do sistema; utilização do sistema pelos usuários; e avaliação de pontos específicos utilizando questionários. Os mesmos princípios avaliados com a validação automática foram utilizados como questionário na avaliação do MannAR-FA. Ao total foram 128 pontos verificados, sendo que para cada item o usuário tinha três opções: atendido, não atendido e não se aplica. Dos 128 pontos analisados, 92,1%, 118 pontos, foram considerados atendidos pelos dois participantes. Os pontos não atendidos estão relacionados com a dificuldade relatada pelos participantes de encontrar o botão de selecionar a imagem, sendo que o botão encontrado primeiramente era o de submissão da imagem, fazendo com que os usuários tentassem enviar a imagem antes de a ter selecionado.

Para realização da avaliação da usabilidade do MannAR-FA foi elaborado um questionário com base nas heurísticas de Nielsen. O questionário possui dez itens, sendo um para cada heurística. Foram identificados dois pontos que precisam ser melhorados que estão relacionados com a prevenção de erros e a correção de erros cometidos. Tal fato, ocorreu devido ao erro levantando na subseção anterior. Todavia, 80% dos itens foram considerados aceitáveis.

Como já citado, a ferramenta JFLAP pode ser utilizada como uma versão alternativa para uma imagem de AF. Para isto, é preciso converter os dados retirados da imagem para um arquivo .jff. Para verificar o desempenho da integração com o JFLAP foram testadas as 12 imagens que foram corretamente reconhecidas e também obtiveram acerto de todos os caracteres no OCR. Das 12 imagens testadas, 7 (58,33%) obtiveram sucesso na conversão para o arquivo .jff.

⁸<https://achecker.ca/checker/index.php>

8. Conclusão

O reconhecimento completo de um autômato é uma tarefa não trivial, composta por diferentes etapas complexas. O MannAR é um método que busca atender as necessidades de diferentes tipos de usuários, por meio da integração com ferramentas acessíveis tanto de *software* quanto de *hardware* promovendo a autonomia do aluno. Os resultados deste trabalho foram: os modelos de CNNs, que identificam os tipos de imagens e a quantidade de estados de autômatos; a base de autômatos, composta por imagens digitais de AF, AP e MT, com 1920 imagens; o método MannAR; e a ferramenta MannAR-FA que implementa o método MannAR para AFs e gera três diferentes versões acessíveis da imagem do autômato.

Como trabalhos futuros têm-se: investigar diferentes abordagens para o reconhecimento do símbolo de estado inicial, visto que esse item obteve a menor taxa de acerto entre os itens avaliados; criar um OCR próprio para reconhecer texto nos autômatos; expandir a ferramenta para os demais mecanismos reconhecedores de linguagens; integrar o MannAR-FA com outras ferramentas acessíveis relacionadas a manipulação de autômatos que possam ser úteis para deficientes visuais; realizar testes com um número maior de deficientes visuais; e investigar a possibilidade de uma imagem de autômato ser reconhecida de forma automática em um arquivo PDF, possibilitando também o envio desse formato na ferramenta MannAR-FA.

Com os resultados obtidos conclui-se que é viável desenvolver um método que abranja grande quantidade de imagens, pois, em alguns casos, não é possível processar imagens com qualidade extremamente baixas. Mesmo assim, há um forte indicativo de que o método pode ser um prelúdio para o desenvolvimento de novas pesquisas no campo de reconhecimento de imagens digitais para deficientes visuais.

9. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq).

Referências

- Babalola, O. T. (2015). Automatic recognition and interpretation of finite state automata diagrams. Master's thesis, Stellenbosch: Stellenbosch University.
- Balik, S. P., Mealin, S. P., Stallmann, M. F., and Rodman, R. D. (2013). Gsk: universally accessible graph sketching. In *Proceedings...*, pages 221–226, New York. ACM technical symposium on Computer science education,44,2013, ACM.
- Bhowmick, A. and Hazarika, S. M. (2017). An insight into assistive technology for the visually impaired and blind people: state-of-the-art and future trends. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 11(2):149–172.
- Bine, L. M. S., Costa, Y. M., and Aylon, L. B. R. (2018). Automata classification with convolutional neural networks for use in assistive technologies for the visually impaired. In *Proceedings of the 11th PErvasive Technologies Related to Assistive Environments Conference*, pages 157–164. ACM.

- Brasil (1988). Constituição da república federativa do brasil. 292 p.
- Brasil (2009). Subsecretaria nacional de promoção dos direitos da pessoa com deficiência. comitê de ajudas técnicas. **Tecnologias Assistivas**. 138 p.
- Crescenzi, P., Rossi, L., and Apollaro, G. (2012). Making turing machines accessible to blind students. In *Proceedings...*, pages 167–172, New York. ACM technical symposium on Computer Science Education, ACM.
- Cuevas, E., Wario, F., Zaldivar, D., and Pérez-Cisneros, M. (2013). Circle detection on images using learning automata. In *Artificial Intelligence, Evolutionary Computing and Metaheuristics*, pages 545–570. Springer.
- Diverio, T. A. and Menezes, P. B. (2009). *Teoria da Computação–UFRGS: Máquinas Universais e Computabilidade*. Bookman Editora.
- DudaR, O. and Hart, P. (1972). Use of the hough transform to detect lines and curves in pictures. *Communications of the ACM*.
- Henry, S. L., Abou-Zahra, S., and Brewer, J. (2014). The role of accessibility in a universal web. In *Proceedings...*, Seoul. Web for all Conference, 11, 2014, ACM. Article 17.
- Karasneh, B. and Chaudron, M. R. (2013). Extracting uml models from images. In *Proceedings...*, pages 169–178. Computer Science and Information Technology (CSIT), 5, 2013, IEEE.
- Luque, L., Brandão, L. O., Kira, E., and Brandão, A. A. (2018). On the inclusion of learners with visual impairment in computing education programs in brazil: practices of educators and perceptions of visually impaired learners. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 24(1):4.
- Luque, L., Santos, C., Cruz, D. O., Brandao, L. O., and Brandao, A. (2016). Model2gether: a tool to support cooperative modeling involving blind people. In *Brazilian Conference of Software*.
- Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. Elsevier.
- Pansanato, L. T. E., Bandeira, A. L. M., Santos, L. G. d., and Pereira, D. d. P. (2012). Projeto d4all: acesso e manipulação de diagramas por pessoas com deficiência visual. In *Proceedings...*, pages 33–36, Cuiabá. Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems, 11, 2012, Brazilian Computer Society.
- Sipser, M. (2006). *Introduction to the Theory of Computation*, volume 2. Thomson Course Technology Boston.
- Torres, E. F., Mazzoni, A. A., and da Mota Alves, J. B. (2002). A acessibilidade à informação no espaço digital. *Ciência da Informação*, 31(3).
- Vieira, N. J. (2006). *Introdução aos fundamentos da computação: linguagens e máquinas*. Pioneira Thomson Learning.
- Viola, P. and Jones, M. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In *Proceedings...*, volume 1, pages I–I. Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001.