

UM ESTUDO PRELIMINAR DO PROTOCOLO DE NAVEGAÇÃO DE INTERFACES GRÁFICAS BASEADO NA CODIFICAÇÃO DE HUFFMAN

Renato S. Gomide
Instituto Federal Goiano
renato.s.gomide@gmail.com

Luiz F. B. Loja
Instituto Federal de Goiás
luiz@doutorado.ufu.br

Edna L. Flôres
Universidade Federal de
Uberlândia
edna@ufu.br

Rodrigo P. Lemos
Universidade Federal de
Goiás
lemos@emc.ufg.br

Ricardo A. G. Teixeira
Universidade Federal de Goiás
professorricardoteixeira@gmail.com

Francisco R. Melo
Universidade Estadual de Goiás
francisco.melo@ueg.br

Resumo – Este trabalho tem como objetivo desenvolver um método de Interação Homem-Computador para pessoas que possuem a síndrome do encarceramento por meio do piscar de olhos. Grande parte dos trabalhos encontrados na literatura utilizam o método de varredura de tela como protocolo de comunicação. O modelo proposto nesse artigo baseia-se na codificação de Huffman, que consiste em utilizar uma sequência de sinais de entrada para produzir comandos computacionais específicos. Foi desenvolvido um algoritmo para identificar a piscada dos olhos e uma interface gráfica experimental. Os primeiros testes na interface foram satisfatórios e a avaliação dessa interface será realizada em estudos posteriores.

Palavras-Chave - comunicação suplementar e alternativa, codificação de Huffman, interface gráfica, navegação, tecnologia assistiva.

A PRELIMINARY STUDY OF A GRAPHICAL USER INTERFACE NAVIGATION PROTOCOL BASED ON HUFFMAN CODING

Abstract – This work aims to develop a method of Human Computer Interaction for people who have a locked-in syndrome through the blink of an eye. Much of the works found in the literature uses the screen scanning method for communication protocol. The model proposed in this article is based on Huffman coding, that uses an input signal sequence to produce a specific computational command. An algorithm was developed to identify eye blink and an experimental graphical interface. The first tests at the interface were satisfactory and the evaluation of this interface will be held in later works.

Keywords - alternative and augmentative communication, assistive technology, graphical user interface, Huffman coding, navigation.

I. INTRODUÇÃO

A comunicação é parte da interação entre os seres humanos. Essa característica se torna mais importante para pessoas com necessidades especiais. Isso porque a comunicação desses indivíduos com seus familiares ou cuidadores é um fator essencial para a sua melhora e aumento da qualidade de vida [1].

Algumas deficiências afetam o aspecto cognitivo e de comunicação das pessoas, como por exemplo, o autismo, a deficiência intelectual, a dislexia e as disfunções emocionais e comportamentais [2]. Porém, existem indivíduos com necessidades especiais que estão com as funções cognitivas preservadas, mas eles não podem estabelecer a comunicação de forma natural [3].

Muitas vezes esses indivíduos possuem restrições motoras e de fala ao mesmo tempo, ou seja, a comunicação verbal e a linguagem corporal são prejudicadas. A restrição motora mais extrema é caracterizada pela Síndrome do Encarceramento (SE), no qual o indivíduo com essa síndrome perde completamente suas funções motoras, mantendo apenas o movimento dos olhos [4]. A SE pode ser causada por paralisia cerebral, esclerose lateral amiotrófica (ELA), tetraplegia e doenças degenerativas do sistema nervoso [5].

Os indivíduos portadores de SE necessitam de dispositivos que forneçam meios alternativos de comunicação, pois devido às suas limitações eles não podem se comunicar oralmente e nem gestualmente. A Tecnologia Assistiva (TA) é uma área de conhecimento que pesquisa o desenvolvimento de mecanismos de acessibilidade. Colker definiu TA como "uma ampla gama de equipamentos, serviços, estratégias e práticas concebidas e aplicadas para minorar os problemas funcionais encontrados pelos indivíduos com deficiência" [6].

Os mecanismos e aplicações clínicas da TA destinados à comunicação são chamados de Comunicação Suplementar e Alternativa (CSA). A CSA é definida como "todo e qualquer recurso que pode ser utilizado para codificar e transmitir uma mensagem, sem requerer habilidades de escrita ou vocalização" [7]. Uma maneira de utilizar CSA como forma



XIII CEEL - ISSN 2178-8308
12 a 16 de Outubro de 2015
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

de codificação e transmissão de mensagens pelo computador pessoal é fornecer acessibilidade para indivíduos com SE.

Um indivíduo com Síndrome do Encarceramento possui dois tipos de sinais biológicos que podem ser convertidos em comandos computacionais. Esses sinais são o movimento dos olhos e os sinais relacionados às atividades cerebrais [8].

O sinal do movimento dos olhos pode ser adquirido por meio de câmeras de vídeo [9] ou pela aquisição da atividade dos músculos oculares (Eletro-oculograma - EOG) [10]. A técnica mais utilizada para realizar a aquisição do sinal das atividades cerebrais é o Eletroencefalograma (EEG) [11].

Os sinais biológicos podem ser decodificados e processados para que o computador interprete-os como um comando específico. Esses sinais são interpretados por meio de duas abordagens. Uma dessas abordagens é a utilização de reconhecimento de padrões, no qual cada padrão corresponde a um comando distinto. A outra abordagem é a o uso de estados *ativo* e *inativo* conforme a amplitude do sinal adquirido [12].

A vantagem de utilizar o reconhecimento de padrões permite que um sinal adquirido possa gerar n comandos. Com a maior variedade desses comandos, pode-se aumentar a performance de uso do mecanismo de entrada de dados [13]. Porém, a concentração do usuário em realizar um estímulo específico é uma atividade cansativa, além disso o sistema computacional pode falhar na interpretação do sinal e codificá-lo como outro comando [14].

A abordagem de utilizar os estados *ativo* e *inativo* permite que o usuário se preocupe apenas com um tipo de estímulo específico. Por exemplo, para o sinal do movimento dos olhos, os algoritmos computacionais devem identificar quando o olho está aberto (*ativo*) ou fechado (*inativo*).

Os sistemas computacionais de CSA convencionais utilizam o modelo de varredura como mecanismo de navegação da interface gráfica. Cada opção dessa interface fica em destaque por um curto intervalo de tempo. E se o usuário quiser acessar uma determinada opção, ele deve emitir um estímulo que represente o acionamento da opção destacada.

A Figura 1 ilustra o menu de uma interface que utiliza o modelo de varredura. Observa-se nessa figura que a opção fica destacada por 500 ms. Portanto, nesse exemplo para acessar a última opção é necessário esperar no mínimo 2000 ms.

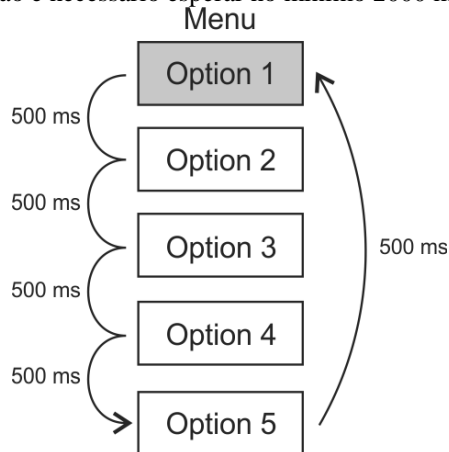


Fig. 1. Esquema do funcionamento do modelo de varredura com o intervalo de tempo de 500 ms para cada opção

[15] propuseram um método de Interface Homem-Computador (IHC) que utiliza o piscar de olhos e a navegação na interface por varredura. Eles elaboraram um algoritmo que distingue quando uma piscada é voluntária ou involuntária. Para aumentar a performance desse método, eles sugeriram usar um modelo baseado na codificação de Huffman [16].

Westeyn e Starner [17] desenvolveram um modelo de comunicação baseado em notas musicais. A leitura da duração destas notas de uma partitura era realizada de acordo com a duração da piscada dos olhos. Eles verificaram que este tipo de atividade era de fácil assimilação para pessoas com a SE e não exigia treinamento.

Em [18] foi mostrado que em um sistema de TA a porcentagem de acerto da classificação das piscadas voluntárias ou involuntárias era de 93%.

O objetivo desse trabalho é propor um método de Interação Homem-Computador e um algoritmo de reconhecimento do piscar de olhos. O método de IHC obtém o acesso direto às opções de uma interface gráfica utilizando mais de um comando distinto. E os comandos são interpretados a partir de uma sequência de piscadas que podem ser de curta ou longa duração.

Esse artigo está estruturado da seguinte forma: a Seção II descreve a proposta do modelo de comunicação. O mecanismo de identificação da piscada dos olhos é mostrado na Seção III. A Seção IV descreve a Interface Gráfica Experimental que utiliza o protocolo de comunicação desenvolvido. Finalmente, a Seção V apresenta as conclusões desse trabalho.

II. MÉTODO DE INTERAÇÃO HOMEM-COMPUTADOR PROPOSTO

Essa seção descreve o método de IHC que utiliza a piscada dos olhos e a codificação de Huffman. A piscada dos olhos é classificada de acordo com a sua duração como *curta* ou *longa*. A codificação de Huffman foi utilizada para organizar os comandos conforme uma sequência de piscadas. Para facilitar a compreensão, o modelo de comunicação é mostrado em forma de uma árvore.

A codificação de Huffman utiliza uma combinação binária de no máximo n elementos para obter uma representação. Um exemplo bastante conhecido é a representação alfabética do código de Morse. Essa representação usa uma palavra de até 5 elementos para representar uma letra, um número ou um caractere especial.

Uma das características da codificação de Huffman que está relacionada com o número de representações é o tamanho da palavra. Quanto maior é a palavra, maior é a quantidade de elementos que podem ser representados. Outra característica é a quantidade de símbolos que pode ser utilizado para cada elemento da palavra.

O cálculo do número máximo de elementos representados de acordo com a quantidade de símbolos e com o tamanho da palavra é mostrado na equação (1).

$$R = \sum_{i=1}^n M^i \quad (1)$$

Onde:

- R - Número de representações.
- n - Tamanho máximo da palavra.
- M - Número de símbolos utilizados.

Nesse trabalho, a piscada dos olhos é interpretada como um comando computacional. Esse estímulo é classificado de acordo com a sua duração. Uma piscada com a duração menor do que 200 ms é definida como involuntária [19]. Nessa pesquisa foi considerada a duração entre 200 e 500 ms como piscada curta e entre 500 e 1000 ms como piscada longa. Se a duração do estímulo ultrapassar 1000 ms ou o usuário ficar inativo por 500 ms, é disparado um evento que confirma a sequência de piscadas realizadas pelo usuário. Os símbolos p e L são utilizados para representar uma piscada curta e longa, respectivamente.

Uma sequência de piscadas curtas e longas podem ampliar o número de comandos do usuário sem o auxílio de dispositivos de entrada convencionais. Esses dispositivos podem ser o teclado e o mouse. A Figura 2 ilustra as possíveis opções de árvores conforme o tamanho da palavra.

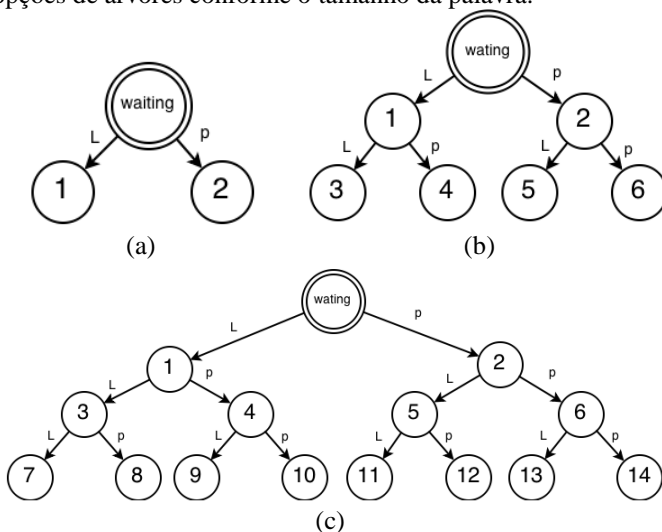


Fig. 2. Opções que podem ser acessadas conforme o tamanho da palavra; (a) possíveis opções para palavras de tamanho 1; (b) opções para palavras de tamanho 2; (c) possíveis opções para palavras de tamanho 3

Observa-se na Figura 2 que a possibilidade de opções aumenta exponencialmente em relação ao tamanho da palavra. Além disso, quanto maior é o número de caracteres da palavra, mais tempo é necessário para acionar um comando. Para acionar o comando de número 8 da Figura 2.c é necessário duas piscadas longas e uma curta mais o tempo de inatividade. E o tempo total para o acionamento desse comando é de no mínimo 1700 ms.

A Figura 3 mostra o tempo de execução dos comandos 4, 5 e 13 da Figura 2.c. O tempo total para a execução dessa sequência de comandos é de no mínimo 3800 ms.

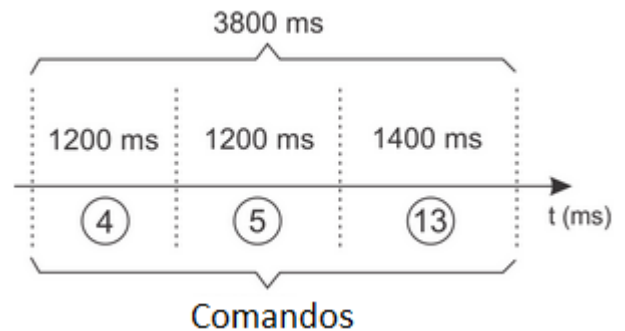


Fig. 3. Tempo de execução dos comandos 4, 5 e 13 da Figura 2.c

Para o desenvolvimento de um método de IHC é importante considerar o número de opções de controle disponibilizadas na interface e a análise de interação do usuário/interface. Também deve ser levado em consideração a curva de aprendizado e o esforço do usuário com o método de interação.

A próxima sessão apresenta a descrição do método de identificação do piscar de olhos. Esse método será utilizado no mecanismo de interação entre o homem e o computador por meio de câmeras.

III. IDENTIFICAÇÃO DO PISCAR DE OLHOS

Foi desenvolvido um mecanismo de identificação da piscada dos olhos utilizando imagens adquiridas por câmeras convencionais a ser usado em conjunto com o método de Interação Homem-Computador proposto. O mecanismo de decodificação da piscada dos olhos é composto por quatro etapas: aquisição, pré-processamento, segmentação e classificação da imagem em olho aberto ou fechado.

A frequência de aquisição das imagens foi de 15 Frames por Segundo (FPS). Essa configuração possibilita que as operações de pré-processamento, segmentação e classificação da imagem ocorram em tempo real.

A. Pré-processamento da Imagem

A primeira operação realizada na etapa de pré-processamento é a de redução do tamanho da imagem adquirida. Foi utilizado 165 pixels de largura por 126 pixels de altura e o espaço de cor Red Green Blue (RGB). Logo após foi aplicada uma operação de redução da paleta de cores para 16 cores por canal utilizando o algoritmo de [20]. A Figura 4 apresenta uma imagem com 256 e 16 cores por canal e a distribuição dos pixels de cada imagem no plano tridimensional RGB.

O próximo ajuste realizado na imagem corresponde à configuração de brilho e contraste. Esse ajuste deve ser realizado para realçar a pupila, os cílios e a sobrancelha. Assim, a pele e a esclera (conhecida como o "branco do olho") ficam em segundo plano. A Figura 5 mostra um exemplo de uma imagem com o olho aberto e o ajuste do brilho e do contraste na configuração ideal.

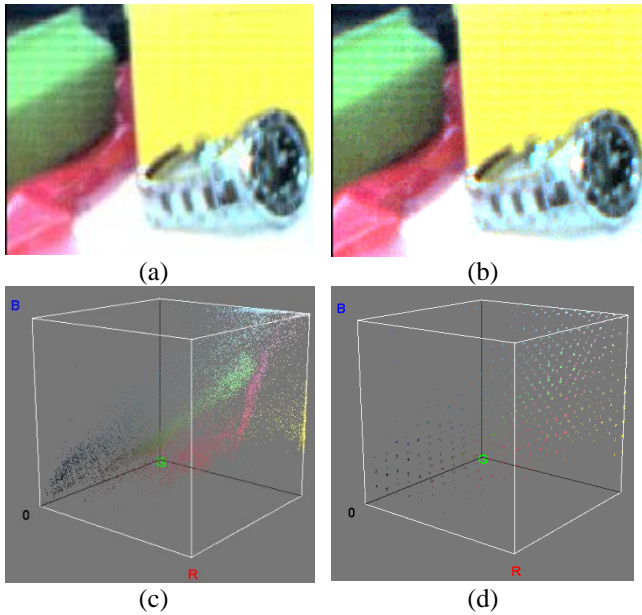


Fig. 4. Redução da paleta de cores. (a) 256 cores por canal; (b) 12 cores por canal; (c) Pixels da imagem de 256 cores por canal distribuídos no plano RGB; (d) Pixels da imagem de 12 cores por canal distribuídos no plano RGB



Fig. 5. Ajuste de brilho e contraste. (a) Imagem original; (b) Imagem ajustada

Finalmente, o espaço de cores da imagem é convertido para tons de cinza de 8 bits. A conversão é realizada para ser utilizada no método de segmentação. A Figura 6 mostra a imagem da Figura 5.b convertida em tons de cinza.



Fig. 6. Imagem da Figura 5.b convertida em tons de cinza

B. Segmentação da Imagem

A segmentação da imagem é o processo de separar a região de interesse de uma imagem para facilitar a sua análise [21]. O processo de segmentação utilizado nesse experimento foi o de *threshold*, que consiste em classificar os pixels da imagem em branco quando a intensidade do pixel cinza é maior do que t e preto caso contrário [22].

Nesse trabalho, o valor de t adotado para os testes foi de 250. A Figura 7 mostra o resultado da segmentação de duas imagens, uma com o olho aberto e outra com o olho fechado.



Fig. 7. Segmentação das imagens do olho. (a) Olho aberto; (b) Olho fechado

Nota-se que as imagens dos olhos nos estados aberto e fechado são bem definidas. O método de classificação das imagens é descrito na próxima subseção.

C. Classificação da Imagem

O processo de classificação da imagem verifica o estado do olho no momento da aquisição. Foram adotados os estados *aberto* ou *fechado* como resultado da classificação.

Primeiro, é necessário realizar um treinamento com o olho aberto para a construção de uma máscara. Essa máscara é construída a partir da operação lógica *OR* de 22 frames, que equivale a 1,5 segundos de captura contínua. Essa construção serve para gerar uma imagem resultante que incorpora algumas variações de movimentação do olho aberto, como a abertura da pálpebra e a direção da íris.

A Figura 8 mostra o exemplo de uma máscara construída a partir da soma de 22 frames. A máscara é utilizada no processo de classificação como uma imagem de referência para o olho no estado *aberto*.



Fig. 8. Máscara criada a partir da operação lógica *OR* de 22 frames

Com a máscara o sistema é capaz de classificar a imagem adquirida. A partir da máscara é construída uma imagem utilizando a operação lógica *AND* com o frame atual, no qual o valor lógico do pixel branco é *verdadeiro* e do pixel preto é *falso*. A Figura 9 apresenta um exemplo da operação lógica da máscara nas imagens com o olho nos estados *aberto* e *fechado*.

A classificação da imagem é realizada pelo cálculo do percentual de pixels branco da imagem resultante da operação lógica com a imagem segmentada. Se esse percentual está acima de um limiar, a imagem é classificada como *olho aberto* e, caso contrário, *olho fechado*.

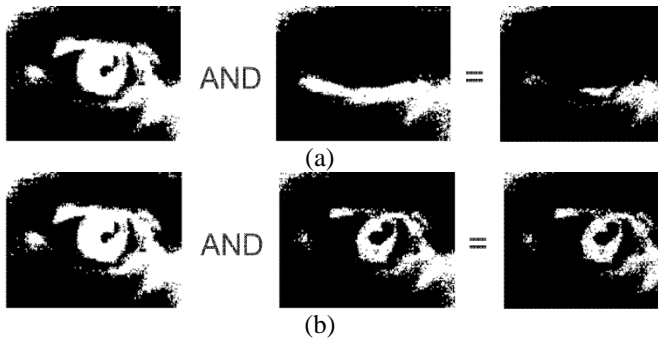


Fig. 9. Operação lógica *AND* com a máscara e a imagem segmentada. (a) Operação com o olho aberto; (b) Operação com o olho fechado

No exemplo mostrado na Figura 9 foi utilizado o limiar de 70 %. A imagem do olho aberto foi classificada corretamente em 96,41 % e a imagem de olho fechado em 63,06 %.

Esse método de classificação é eficiente desde que a câmera esteja em uma posição fixa e o usuário imóvel. Caso ocorra a mudança de posição da câmera ou do usuário é necessário construir uma nova máscara. Para aumentar a eficiência do sistema como um todo, foi montada uma haste de arame que fica presa na cabeça do usuário e a câmera fixada na extremidade da haste. A Figura 10 apresenta a foto do protótipo dessa haste.

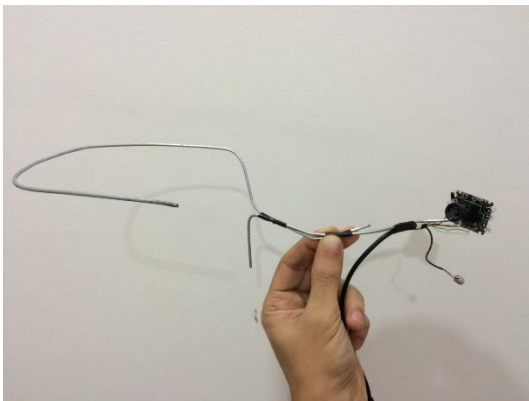


Fig. 10. Haste de arame que fica fixada na cabeça do usuário e prende a câmera em outra extremidade

Na próxima seção é descrita a interface gráfica experimental usada nos testes. Essa interface utiliza o modelo de comunicação apresentado na Seção II com o aparato de identificação da piscada dos olhos mostrado nesta seção.

IV. INTERFACE GRÁFICA EXPERIMENTAL

Foi desenvolvida uma interface gráfica para a execução dos testes do protocolo de comunicação descrito na Seção II. A tela dessa interface gráfica experimental é composta de duas regiões. A primeira contém os controles para o ajuste das imagens adquiridas pela câmera e um botão para iniciar o treinamento que constrói a máscara. A segunda região da interface apresenta um modelo de navegação que possui um menu e um submenu.

A Figura 11 mostra o modelo da interface gráfica experimental. Os botões dos menus possuem o rótulo em destaque e no canto inferior direito a forma de acesso, onde *p*

corresponde a uma piscada curta e *L* a uma piscada longa. Cada botão possui uma combinação específica e, nesse exemplo foi utilizado uma combinação de até duas piscadas.

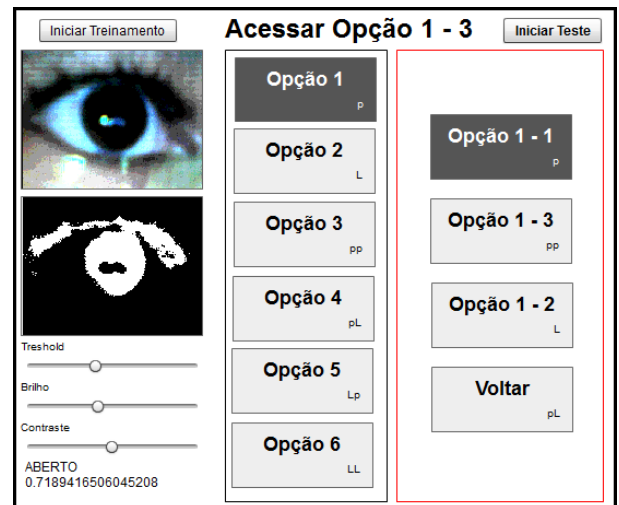


Fig. 11. Interface gráfica experimental

O menu e o submenu são contornados por uma borda de cor preta ou vermelha. A borda vermelha significa que a área da interface está ativa. Portanto, na Figura 11 o submenu da *Opção 1* está ativo. Para que o usuário navegue de volta para o menu principal, deve ser selecionado o botão *Voltar*.

O botão *Iniciar Teste* localizado no canto superior direito da interface solicita ao usuário uma série de operações de navegação. No final do teste é apresentado o tempo de acesso para cada opção e o número de interações realizadas. Na Figura 11 é solicitado que o usuário navegue para a *Opção 1-3*, ou seja, a *Opção 1* deve ser selecionada no menu principal e depois deve ser escolhida a *Opção 1-3* do submenu.

Em um estudo posterior será realizada uma comparação entre os modelos de navegação por varredura e por codificação. A comparação será realizada a partir da coleta das informações de performance que os usuários terão de acordo com uma série de atividades solicitadas a eles durante o teste.

V. CONCLUSÕES

Grande parte das interfaces assistivas propostas na literatura utilizam o modelo de interação por varredura. Esse trabalho propõe um modelo de interação baseado na codificação de Huffman. E o mecanismo de entrada de dados ocorre pela piscada dos olhos, no qual uma piscada pode ser interpretada como involuntária, curta ou longa.

A abordagem por codificação é relevante para interfaces que apresentam muitas opções para a navegação. Uma solução híbrida também pode ser proposta de tal forma que as regiões da interface que possuem poucas opções utilizem o mecanismo de varredura e os recursos com várias opções, como por exemplo um teclado virtual, utilize o mecanismo de codificação.

Em estudos futuros será avaliado a comparação entre a performance dos dois mecanismos de navegação. Será elaborado um protocolo de avaliação que obtém o tempo para a execução de um conjunto de tarefas e a taxa de erro. Esse

estudo utilizará o layout da interface experimental mostrado na Seção IV com diversas configurações para os menus, que pesquisarão a variação do número de opções de navegação.

Ao final dessa pesquisa espera-se obter um modelo ideal para a tomada de decisão de quando aplicar os métodos de comunicação mais eficazes de acordo com o número de opções de uma interface gráfica.

REFERÊNCIAS

- [1] A. Al-Abdullatif, H. Al-Negheimish, L. Al-Mofeez, N. Al-Khalifa, L. Al-Andas, A. Al-Wabil, Mind-controlled augmentative and alternative communication for people with severe motor disabilities, in: Innovations in Information Technology (IIT), 2013 9th International Conference on, 2013, pp. 107–112.
- [2] M. Alwell, B. Cobb, Social and communicative interventions and transition outcomes for youth with disabilities: A systematic review, *Career Development for Exceptional Individuals* (2009) –.
- [3] K. Hill, *Advances in augmentative and alternative communication as quality-of-life technology* (2010).
- [4] J. Keegan, E. Burke, J. Condron, An electrooculogram-based binary saccade sequence classification (bsse) technique for augmentative communication and control, in: *Engineering in Medicine and Biology Society, 2009. EMBC 2009. Annual International Conference of the IEEE, 2009*, pp. 2604–2607.
- [5] M. Cardwell, et al., Locked-in syndrome., *Texas medicine* 109 (2) (2012) e1–e1.
- [6] R. Colker, Americans with disabilities act: A windfall for defendants, the, *Harv. Cr-CIL Rev.* 34 (1999) 99.
- [7] E. C. de Macedo, O uso de sistemas alternativos e facilitadores de comunicac, ~ ao nas afasias, *Dist ´ urbios da Comunicac, ~ ao.* ISSN 2176-2724 9 (2).
- [8] P. Cipresso, P. Meriggi, L. Carelli, F. Solca, D. Meazzi, B. Poletti, D. Lule, A. Ludolph, G. Riva, V. Silani, The combined use of brain computer interface and eye-tracking technology for cognitive assessment in amyotrophic lateral sclerosis, in: *Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 2011 5th International Conference on, 2011*, pp. 320–324.
- [9] S.-W. Park, Y.-l. Yim, S.-h. Yi, H.-y. Kim, S.-m. Jung, Augmentative and alternative communication training using eye blink switch for lockedin syndrome patient, *Annals of Rehabilitation Medicine* 36 (2) (2012) 268–272.
- [10] A. B. Usakli, S. Gurkan, F. Aloise, G. Vecchiato, F. Babiloni, A hybrid platform based on eog and eeg signals to restore communication for patients afflicted with progressive motor neuron diseases, in: *Engineering in Medicine and Biology Society, 2009. EMBC 2009. Annual International Conference of the IEEE, 2009*, pp. 543–546.
- [11] A. Cabrera, O. F. do Nascimento, D. Farina, K. Dremstrup, Braincomputer interfacing: How to control computers with thoughts, in: *Applied Sciences on Biomedical and Communication Technologies, 2008. ISABEL '08. First International Symposium on, 2008*, pp. 1–4.
- [12] B. Sorger, B. Dahmen, J. Reithler, O. Gosseries, A. Maudoux, S. Laureys, R. Goebel, Another kind of BOLD Response: answering multiplechoice questions via online decoded single-trial brain signals, Vol. 177, 2009.
- [13] G. Sun, J. Hu, G. Wu, A novel frequency band selection method for common spatial pattern in motor imagery based brain computer interface, in: *Neural Networks (IJCNN), The 2010 International Joint Conference on, 2010*, pp. 1–6.
- [14] H. Drewes, Eye gaze tracking for human computer interaction (March 2010). URL <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bvb:19-115914>
- [15] K. Grauman, M. Betke, J. Gips, G. R. Bradski, Communication via eye blinks-detection and duration analysis in real time, in: *Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on, Vol. 1, IEEE, 2001*, pp. I–1010.
- [16] D. E. Knuth, Dynamic huffman coding, *Journal of algorithms* 6 (2) (1985) 163–180.
- [17] T. Westeyn, T. Starner, Recognizing song-based blink patterns: applications for restricted and universal access, in: *Automatic Face and Gesture Recognition, 2004. Proceedings. Sixth IEEE International Conference on, 2004*, pp. 717–722. doi:10.1109/AFGR.2004.1301619.
- [18] J. E. Chapman, Use of an eye-operated computer system in locked-in syndrome, in: *Sixth Annual International Conference on Technology and Persons with Disabilities (CSUN'91), 1991*.
- [19] A. Krolak, P. Strumillo, Vision-based eye blink monitoring system for human-computer interfacing, in: *Human System Interactions, 2008 Conference on, 2008*, pp. 994–998. doi:10.1109/HSI.2008.4581580.
- [20] A. C. Silva, P. S. Lucena, W. B. Figuerola, Average dithering, *Image Based Artistic Dithering.* 6
- [21] K.-S. Fu, J. Mui, A survey on image segmentation, *Pattern recognition* 13 (1) (1981) 3–16.
- [22] S. S. Al-Amri, N. V. Kalyankar, et al., Image segmentation by using threshold techniques, *arXiv preprint arXiv:1005.4020*.