1
Introdução

A interação entre humanos e máquinas tem sido um campo de pesquisa e desenvolvimento em expansão nos últimos anos. As três últimas décadas testemunharam o aparecimento de interfaces homem-máquina inovadoras que utilizam voz, visão, tato e a combinação desses elementos como base para um sistema de comunicação [1].

Nos últimos 15 anos, teve início o estudo de sistemas de comunicação baseados na análise de sinais elétricos cerebrais, motivado principalmente pelo aumento na qualidade de vida de pessoas portadoras de deficiência física que esses sistemas podem oferecer. Com os avanços recentes em neurociência, processamento de sinais, inteligência artificial, e equipamentos eletrônicos, tornou-se possível o desenvolvimento de uma interface de comunicação direta entre cérebro e máquina ("*Brain Machine Interface*" – BMI) [2]. Os usuários desses sistemas podem controlar um dispositivo apenas através de determinadas atividades mentais, que são então associadas a uma ação do dispositivo controlado. Algumas aplicações típicas incluem posicionamento de um cursor, programas para soletrar e o comando de sistemas mecânicos.

No que se diz respeito ao tipo de treinamento utilizado, as BMI`s podem ser divididas em dois tipos: as baseadas em potenciais evocados e as baseadas no condicionamento operante. O uso dos potenciais evocados é feito apresentando ao usuário diferentes estímulos visuais simultâneos e intermitentes, que podem variar em frequência e intensidade, e então medindo o potencial evocado, que dependerá da atenção do usuário a um dos estímulos visuais. Já o condicionamento operante depende única e exclusivamente de atividades mentais do usuário que resultem numa variação de potencial elétrico no córtex cerebral como, por exemplo, o movimento imaginário de algum membro do corpo ou outra atividade cognitiva relacionada à fala ou ao raciocínio lógico.

As atividades mentais geram diversos fenômenos e sinais elétricos que podem ser medidos utilizando-se os sensores adequados. Os sensores utilizados por uma BMI a definem como invasiva, no caso de eletrodos implantados diretamente no cérebro, ou não-invasiva, no caso de eletrodos

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0821241/CA

posicionados no escalpe do usuário, medindo sinais eletroencefalográficos (EEG). Uma vez medidos, esses sinais são então classificados por modelos matemáticos de classificação e convertidos em alguma ação da BMI, o que pode representar um novo recurso de comunicação para pessoas portadoras de deficiência física.

Em particular, pode-se considerar o uso deste sistema para pacientes de Esclerose Amiotrófica Lateral (EAL), uma doença motora progressiva de etiologia desconhecida, que resulta na completa destruição do sistema motor central e periférico. Entretanto, esta doença pouco afeta as funções sensórias e cognitivas [3]. Não há tratamento disponível para EAL, os pacientes são obrigados a aceitar respiração e alimentação artificiais (após a doença destruir a função respiratória e bulbar) para o resto da vida. A doença progride até que o paciente perca o controle da última resposta muscular, que é normalmente dos músculos dos olhos ou do esfíncter externo. A condição resultante dessa doença é a chamada síndrome do encarceramento completa ou, no caso de ainda haver controle de algum músculo, simplesmente de síndrome do encarceramento. Outras doenças que resultam na síndrome do encarceramento são o derrame subcortical (e outras lesões graves do cérebro), a síndrome de Guillain-Barre e, em casos raros, o mal de Parkinson e a esclerose múltipla.

Baseado no grande conhecimento e experiência clínica com SCP (*Slow Cortical Potential*), Birbaumer et al. [4] desenvolveram uma interface cérebro computador para pacientes com EAL. *Slow cortical potentials* são alterações da atividade elétrica cortical, que estão relacionadas ao nível de excitação das regiões corticais subjacentes. SCP`s negativas representam alta excitação, enquanto SCP`s positivas são reflexo da baixa atividade elétrica cortical ou até mesmo da inibição da mesma. Acredita-se que, em tarefas cognitivas, a amplitude das ondas negativas lentas está relacionada à alocação de recursos neurais [5].

Os pacientes de Birbaumer foram então treinados a produzir SCP`s positivos ou negativos de acordo com um estímulo auditivo. Esses pacientes olhavam suas variações no SCP ou, no caso de insuficiência visual, recebiam um retorno auditivo, além de uma recompensa para mudanças de potenciais bem sucedidas [6]. Após atingir 70% de controle, letras ou palavras eram apresentadas numa tela de computador ou ditas por um programa de voz. Os pacientes eram capazes então de selecionar uma letra gerando SCP`s após a aparição da letra desejada [7].

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0821241/CA

Wolpaw e colaboradores [8] fizeram uma série de experimentos, a maioria com pessoas saudáveis, utilizando o ritmo sensório motor (RSM) ao invés do SCP como objetivo da resposta do cérebro. Em um grupo de pacientes (dois com graves lesões na medula espinhal), Wolpaw e McFarland [9] demonstraram que o controle multidimensional de um cursor numa tela de computador pode ser aprendido em poucas seções de treinamento. Os pacientes eram capazes de movimentar o cursor em menos de 10 segundos até um dos oito objetivos que apareciam aleatoriamente na tela. A flexibilidade, velocidade e desempenho no aprendizado foram semelhantes aos observados quando métodos invasivos de implantes corticais eram testados em animais. A experiência de Wolpaw e McFarland consistia numa simples cobertura com eletrodos das áreas corticais das mãos e pés com filtros lineares e algoritmos de detecção usados para redução e quantificação dos sinais. A maioria dos usuários empregou a imaginação do movimento das mãos esquerda e direita e dos pés para controlar a interface RSM.

O grupo de pesquisadores de Albany e Tubingen [8] comparou a viabilidade e desempenho das interfaces baseadas em SCP, RSM e P300 (desenvolvido por Farwell e Donchin em 1988) com experimentos em sete pacientes com EAL em fase de pré-encarceramento. Os resultados foram bem conclusivos: todos os pacientes atingiram desempenho satisfatório, com mais de 70% de tentativas bem sucedidas, após 20 seções de treinamento com a interface RSM. Quatro dos sete pacientes conseguiram soletrar palavras com a interface P300, mas nenhum atingiu desempenho satisfatório com a interface SCP, apesar de apresentarem diferenças significativas entre SCP`s positivos e negativos. Os pacientes descritos antes por Birbaumer em 1999 obtiveram sucesso com a interface SCP, mas somente após muitas seções de treinamento.

Juntamente com a introdução de experiências clínicas controladas para comparar os diferentes tipos de interface, o grupo de Albany criou o website BCI2000 [10], que fornece gratuitamente programas computacionais modulares para a aplicação em pesquisa e uso clínico de interfaces cérebro máquina. Atualmente, mais de 100 laboratórios utilizam e contribuem com o sítio de internet BCI2000, melhorando os módulos tanto de *hardware* quanto de *software*. O objetivo do projeto BCI2000 é alcançar uma interface cérebro máquina universal, certificada, e de fácil uso que permita o uso de SCP, RSM e P300 como sinais base, numa rede mundial de participantes que contribuam para a melhora contínua das aplicações dessas interfaces [11].

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0821241/CA

Outro ramo de pesquisas em BMI`s se dá na área de implantes corticais invasivos como meio de se obter sinais cerebrais. Kennedy et al. [12] publicaram em 2004 alguns casos de pacientes com EAL em diferentes estágios (nenhum deles com síndrome do encarceramento), com micro eletrodos implantados no córtex cerebral. Alguns pacientes aprenderam a usar o programa para soletrar variando picos de potenciais nos micro eletrodos, numa configuração binária (ativo ou não ativo).

Brunner et al. [13] implantaram eletrodos sub-durais (eletrodos em contato direto com o cérebro) em pacientes e demonstraram que o controle do RSM pode ser alcançado em uma ou mais seções de treinamento. O grupo do brasileiro Miguel Nicolelis [14] demonstrou em macacos, após um extenso treinamento de alcançar e segurar um objetivo, que o padrão de disparo de 32 neurônios é suficiente para controlar diretamente um membro artificial para a execução da tarefa. Atualmente Nicolelis também dirige o Instituto Internacional de Neurociências de Natal.

Limitações típicas de uma BMI não-invasiva, como sinais ruidosos, respostas demoradas, e problemas com a pele e o eletrodo com longos períodos de gravação de sinais, fazem uma interface invasiva parecer uma alternativa tentadora [11]. Entretanto, é de extremo valor oferecer às pessoas portadoras de deficiência física (principalmente as que sofrem de síndrome do encarceramento) uma solução com valor inestimável, que seja isenta de riscos cirúrgicos e consequentemente que tenha custos reduzidos.

Sendo assim, o objetivo geral deste trabalho é o estudo e desenvolvimento dos elementos envolvidos em uma interface cérebro-máquina não-invasiva baseada na análise das alterações do ritmo sensório motor (RSM) durante a imaginação de movimentos.

Como objetivos específicos, têm-se o desenvolvimento de um eletroencefalógrafo portátil de baixo custo, o estudo de diferentes técnicas de classificação baseadas em inteligência artificial, o desenvolvimento de uma metodologia de treinamento do usuário, e por fim a sua aplicação em um manipulador robótico.

Esta dissertação está dividida em mais 6 capítulos. No capítulo 2 faz-se uma apresentação dos tópicos teóricos necessário à boa compreensão do trabalho. Inicialmente são apresentados diferentes métodos utilizados na aquisição de sinais biológicos com aplicação em interfaces cérebro-máquina, seguidos da apresentação das diferentes classes dessas interfaces. O capítulo

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0821241/CA

apresenta também uma breve explicação do processamento de sinais biológicos e da técnica de inteligência artificial envolvida.

O capítulo 3 descreve detalhadamente o circuito eletrônico do eletroencefalógrafo, incluindo os circuitos de proteção, filtragem e amplificação dos sinais, e a aquisição com o conversor analógico digital.

No capítulo 4 são descritas as técnicas de pré-processamento de sinais, utilizadas para extração de características dos sinais cerebrais, bem como a avaliação e comparação entre tais técnicas. A técnica de pré-processamento de sinal escolhida é então utilizada como base para gerar vetores característicos a serem classificados por meio de técnicas de inteligência artificial descritas no capítulo 5.

A aplicação da interface em um manipulador robótico é então descrita no capítulo 6, onde é apresentada a modelagem do manipulador, bem como o *software* e a eletrônica de controle do mesmo. Nesse capítulo relatam-se também os experimentos e simulações realizadas.

No capítulo 7 são feitas as conclusões do trabalho e as propostas de trabalhos futuros.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0821241/CA