

7 Conclusões e Trabalhos Futuros

Uma interface cérebro máquina não-invasiva baseada no condicionamento operante do RSM foi desenvolvida, operando com quatro atividades mentais para o comando de um manipulador robótico. A interface utiliza algoritmos inovadores, e utiliza atividades mentais intuitivas, como a imaginação do movimento do braço esquerdo para mover o manipulador para esquerda, sem a necessidade da imaginação de sólidos em rotação, ou mesmo operações aritméticas como são utilizadas em outras interfaces.

O processo de treinamento é realizado em duas etapas. Na primeira, a interface aprende os padrões do usuário e, na segunda, o usuário aprende a controlar seus sinais cerebrais para ativação da interface.

Através de experimentos, foi concluído que a representação de uma atividade mental por um vetor característico que contenha as energias das bandas Alpha, Beta e 0-32Hz de um sinal EEG com duração de um segundo, para oito eletrodos, resulta em uma alta separabilidade entre diferentes atividades mentais.

Diferentes classificadores baseados em redes neurais foram utilizados para classificar entre quatro atividades mentais distintas. Um extenso banco de dados de 8.000 padrões foi utilizado para treinar e avaliar esses classificadores. Dentre eles, o que apresentou melhor desempenho foi o modelo hierárquico. Entretanto, o percentual de acerto apresentado por esse modelo pode ser considerado insuficiente para a maioria das aplicações. Para aumentar a confiabilidade de uma classificação correta, duas implementações baseadas em múltiplas classificações foram desenvolvidas e avaliadas.

Para a implementação estatística, foi feita uma análise da dependência do modelo a alguns parâmetros que, além de ser usada na validação dos experimentos, demonstra que a interface pode ser adaptada a usuários em diferentes níveis de treinamento. Para um usuário com pouca ou nenhuma experiência no uso da interface, pode-se definir o número mínimo de classificações consecutivas de forma a aumentar a confiabilidade e, conseqüentemente, o tempo de resposta. Para um usuário com mais

experiência, o número de classificações mínimas pode ser reduzido e, juntamente com ele, o tempo de resposta do sistema.

Os resultados obtidos através de experimentos com a interface se aproximam muito dos obtidos pela análise estatística, para ambos os dispositivos estudados (robô móvel e manipulador). É importante destacar que o cansaço físico, a falta de concentração, e outros fatores que implicam numa redução da probabilidade de acerto do classificador baseado em redes neurais, resultam em perda de desempenho do sistema como um todo.

As implementações dos classificadores com múltiplas tentativas resultaram em um aumento significativo do percentual de acertos e numa redução ainda maior do percentual de erros, introduzindo um novo conceito de comando confuso. Esse conceito é de valor inestimável do ponto de vista de engenharia, pois está relacionado diretamente à satisfação e segurança do usuário.

Pôde-se observar ao longo dos experimentos que o usuário apresentou um aumento gradativo na capacidade de controle ao longo do tempo, necessitando de diversas seções de treinamento para atingir o seu desempenho máximo de controle. Observou-se também que, de um experimento para outro, realizados em dias diferentes, é necessário que o usuário treine a interface novamente, aplicando o protocolo de treinamento desde o início. Concluiu-se então que, apesar de o usuário acumular uma capacidade de controle dos sinais cerebrais ao longo dos experimentos, esses sinais podem ser sensivelmente diferentes entre esses experimentos. Assim sendo, um usuário terá mais dificuldade na sua adaptação à interface quando essa tiver sido treinada com padrões de experimentos passados, em outro ambiente, ou com os eletrodos posicionados de forma diferente.

O sistema completo, salvos o computador pessoal e as licenças de software, foram desenvolvidos a um custo unitário relativamente baixo, da ordem de US\$500,00. Assim, espera-se atingir um número significativo de usuários. Para aproximar a interface ainda mais de um sistema de baixo custo e alto desempenho, foi desenvolvida uma placa eletrônica dedicada contendo um DSP (*Digital Signal Processor*) capaz de armazenar o algoritmo de classificação, que substitui o computador pessoal e dispensa seu uso durante o uso da interface. Note, no entanto, que o treinamento ainda precisa ser executado com o uso do computador pessoal.

Como trabalhos futuros sugerem-se a investigação de novos modelos de classificadores baseados em múltiplas tentativas, e o desenvolvimento de uma metodologia de programação da eletrônica, de modo a conter o algoritmo de

classificação. Sugere-se também a otimização dos modelos existentes, investigando a relação entre a redução do tempo de aquisição dos sinais EEG (que resulta na redução do tempo de classificação de uma tentativa) e o número de tentativas utilizadas para obtenção de uma resposta. Acredita-se ser possível que um número maior de classificações mais rápidas (menos que 1 segundo cada, o valor adotado nos experimentos) resulte em um maior percentual de acertos e, dependendo de quantas tentativas forem necessárias, num menor tempo de classificação.

A classificação de três padrões apresentou resultados superiores à de quatro padrões. Dessa forma pode-se investigar a viabilidade do uso de uma interface com apenas três padrões, quando aplicável à tarefa em questão. para aumentar ainda mais a confiabilidade.