

9 Conclusões e trabalhos futuros

Neste trabalho, foi desenvolvido um algoritmo de controle para motores de passo. Simulações feitas no ambiente Simulink/MATLAB do controle proposto demonstram a efetividade do sistema. Um manipulador robótico de seis graus de liberdade foi proposto para validar a técnica apresentada. O manipulador consiste de seis motores de passo acoplados a redutores de velocidade que movimentam seis juntas rotativas. O alcance máximo do manipulador é de $540mm$. O projeto do manipulador foi feito em *software* CAD. A partir deste *software* foram calculadas as massas dos elos e seus momentos de inércia. Estes dados foram utilizados para escrever a equação do movimento do manipulador. A partir desta equação, os torques nos motores foram calculados em função da velocidade e aceleração angular de cada junta. Um modelo do manipulador com os motores de passo foi feito a partir desta equação de movimento. Este modelo mostrou que o manipulador teria desempenho adequado para suas dimensões.

O manipulador foi então construído e montado seguindo o projeto em CAD. Caixas elétricas contendo os *drivers* dos motores de passo foram montadas. Um computador foi adquirido para enviar dados da trajetória do manipulador para as juntas. Este computador envia os dados através de duas portas paralelas e utiliza o *software* EMC2. O EMC2 foi recompilado para calcular a cinemática direta e inversa do manipulador, deduzidas nesse trabalho. O *software* possui uma interface gráfica onde é possível programar a trajetória. A posição de cada junta do manipulador é medida com um *encoder* e enviada para um controlador que recebe os dados da posição demandada pelo computador. O controlador envia uma sequência de pulsos para o *driver* do motor de passo. Este controlador foi construído com base no microcontrolador PIC18F2431.

Alguns testes foram feitos para avaliar a precisão absoluta e a repetibilidade do manipulador. Estes testes mostram que o manipulador possui uma precisão absoluta de cerca de $1,3mm$. A repetibilidade do posicionamento da extremidade foi de cerca de $0,5mm$. Na simulação, o manipulador alcançou a posição

demandada com erro de $0,5mm$. Este erro, como o medido no teste de repetibilidade, foi devido principalmente à discretização do *encoder*. O erro na precisão absoluta foi maior devido a erros no processo de fabricação.

A precisão do posicionamento angular foi inferior a $0,5^\circ$. Durante os testes, foi observado que devido à folga dos redutores, o manipulador oscilava em torno da posição demandada. Ajustes “*anti-chattering*” foram feitos nos controladores de modo que admitissem um erro unitário na medida dos *encoders*. Além disso, quando o sistema está muito próximo da posição desejada, os ganhos do controlador são reduzidos. Após estes ajustes, o manipulador apresentou bom desempenho.

A aceleração e velocidade máxima são constantes determinadas no ajuste do controlador. Entretanto, o desempenho do sistema seria melhorado se o sistema fosse capaz calcular os melhores valores em função da condição atual de utilização. Esta é uma recomendação para trabalhos futuros.