

Diss. ETH No. 10158

Mikroprozessorsteuerung für eine Armprothese mit trainierbarer Befehlserkennung

Microprocessor Control for a Prosthetic Arm
with Trainable Command Recognition

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von
Christof Schärer
Dipl. Masch.-Ing ETH
geboren am 9. Februar 1962
von Wangen b. Olten SO

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. G. Schweitzer, Referent
Dr. E. Stüssi, Korreferent

ADAG Administration & Druck AG
Zürich 1993

Kurzfassung

Prothesen ersetzen fehlende Gliedmassen und übernehmen kosmetische und funktionelle Aufgaben im Alltag des Benutzers oder der Benutzerin. Kann die Prothese aktiv bewegt werden, so muss eine Steuerung vorliegen, die eine kontrollierte Betätigung der verschiedenen Freiheitsgrade ermöglicht. Um eine möglichst gute Akzeptanz zu erreichen, muss der künstliche Arm rasch und effizient bewegt werden können. Die eingeschränkt vorhandenen und einsetzbaren, benutzerabhängigen Steuersignale müssen deshalb zuverlässig registriert und sinnvoll interpretiert werden, so dass aus einem unbequemen, schweren Anhängsel ein brauchbares Werkzeug wird.

Konventionelle Analogsteuerungen für Teilarm-Prothesen mit einem oder zwei aktiv steuerbaren Antrieben haben sich in der Praxis gut bewährt. Jeder Freiheitsgrad wird einzeln durch Ein/Aus-Schaltbefehle gesteuert, die mit Einzelkontraktionen oder Kontraktionssequenzen von ausgewählten Steuermuskeln ausgelöst werden. Im Falle einer Oberarm- oder Ganzarm-Prothese mit den vielen zu steuernden Freiheitsgraden ist ein solcher Ansatz nicht möglich. Um komplexe Bewegungen auszuführen, müsste ein Gelenk nach dem anderen mit zeitaufwendigen Befehlssequenzen bewegt werden. Ein intensives Training wäre erforderlich, in dem die gezielte Muskelsteuerung sowie die vorgegebenen Befehlssequenzen gelernt werden müssten. Die Benutzung der Prothese würde eine bewusste, konzentrierte Befehlserteilung erfordern, die stark belastet und von der Arbeit ablenkt.

Zur Erleichterung der individuellen Anpassung und effizienten Benutzung einer Armprothese mit mehreren steuerbaren Freiheitsgraden wird das Konzept einer trainierbaren Steuerung vorgestellt und getestet. Durch die Trainierbarkeit sollen die Steuermöglichkeiten des Benutzers oder der Benutzerin besser berücksichtigt und die Prothesenfunktionen auf die individuellen Wünsche angepasst werden können. Nachdem der Benutzer/die Benutzerin gelernt hat, mit den ihm/ihr gegebenen Möglichkeiten unterscheidbare Steuerbefehle zu generieren, wird die Steuerung trainiert, diese zu erkennen und die Prothese in die gewünschte Position zu bringen. Zur weiteren Entlastung wird dann die Kontrolle über die Ausführung der Prothesenbewegung an die Steuerung abgegeben.

Die Signalverarbeitung, Befehlsinterpretation und Kontrolle der Prothesenbewegung wurde mit einem digitalen Mikroprozessor ausgeführt. Es wurde davon ausgegangen, dass die Befehle, die von der myoelektrischen Aktivität

der Schultermuskulatur stammen, in neue Prothesenpositionen umgerechnet werden sollen. Zur Interpretation dieser Befehlsmuster wurde ein auf dem Mikroprozessor simuliertes, trainierbares künstliches neuronales Netz eingesetzt, welches Winkel berechnete, die die Gelenke anzufahren hatten. Ein experimenteller anthropometrischer Arm mit fünf elektrisch angetriebenen Gelenken und Greifer gestattete die Ausführung der Bewegungen. Mit Beschleunigungsprofilen, die den natürlichen ähnlich sind, wurden die Bewegungen sanft ausgeführt.

Die individuelle Anpassung der Steuerung geht von Trainingsbeispielen für das künstliche neuronale Netz aus. Diese bestehen aus einem Benutzerbefehl und einer zugehörigen gewünschten Armposition. Um gute Beispiele zu erhalten, musste der Proband vorerst interaktiv am Bildschirm lernen, auf bequeme Art deutliche und unterscheidbare Steuerbefehle zu erzeugen und Armpositionen zuzuordnen. Darauf wurden verschiedene Feed-Forward-Netze mit einem Error-Backpropagation-Algorithmus trainiert und getestet.

Mit vier auf einer starren Schulterkappe angebrachten Hautelektrodenpaaren konnte der Proband Befehle für die Ansteuerung von Prothesenpositionen mit vier Freiheitsgraden - d.h. vier Gelenken - erzeugen. Einfache Netzarchitekturen genügten, um die Trainingsbeispiele zu erlernen und aus den erheblich variierenden Benutzerbefehlen mit bis zu 80% Trefferwahrscheinlichkeit das anzusteuernde Gelenk zu erkennen. Die Befehle konnte der Proband hingegen nur grob abstufen, so dass er den Winkel eines Gelenks nicht sehr genau vorgeben konnten. Die hier eingesetzten Probanden waren nicht behindert, es wurden keine Versuche mit Patienten durchgeführt.

Als weitere Signalquelle wurde mit einem Goniometer die Schulterbeweglichkeit eines Probanden gemessen. Bei entsprechender Anpassung der Transformation von Schulterwinkeln in Benutzerkoordinaten konnte er einen Cursor auf einem Bildschirm gezielt bewegen.

Um zuverlässigere und feiner abstufbare Befehle zu erhalten und die Steuerbarkeit der Prothese zu verbessern, müssen Sensoren besser am oder eventuell im Körper positioniert und deren Signale geeigneter verarbeitet werden. Auch sollten in einem nächsten Schritt Versuche mit Patienten durchgeführt werden. Fortsetzungs- und Verbesserungsvorschläge werden am Schluss der Arbeit gegeben.

Abstract

Prosthetic limbs are cosmetic and functional replacements of lost extremities. If a prosthetic arm allows execution of active movements, the user must be able to control all degrees of freedom with the aid of a customized interface. In order to achieve a high rate of prosthesis acceptance, movements must be executed rapidly and efficiently. Therefore the commands from few available sources have to be interpreted accurately and reasonably so as to convert the mechanical arm from an uncomfortable and heavy appendage into a versatile tool.

Conventional analog controllers for one or two actively controlled joints have been well accepted. Each degree of freedom is individually controlled with on/off switches activated with single or multiple muscle contractions. This approach is not feasible for controlling an above elbow or whole arm prosthesis. In order to execute a complex movement the user would have to move each joint, one after the other, by generating time consuming command sequences. An intensive training would be needed to contract selected muscles and to generate the predefined command sequences. Operating the prosthesis would require high concentration and conscious command generation causing heavy mental load and distraction from the main task.

To quickly adapt a whole arm prosthesis to an user, a concept for a trainable command interpreter is presented and tested. The aim is to adapt the prosthesis controller to individual possibilities and needs. This is done by first training the user to generate distinguishable commands with his or her given possibilities, and then teaching the controller to recognize them and to move the prosthesis into the desired position. To further relieve the user, the movement is executed under prosthesis control.

Signal processing, command recognition and movement control was implemented on a digital microprocessor. User commands resulting from myoelectric activity of the shoulder girdle were interpreted into prosthesis positions. An artificial neural net simulated on the microprocessor was used to interpret the command patterns and to compute the new joint angles. The movements were then executed with an experimental anthropometric arm featuring five electrically driven degrees of freedom and a gripper. Natural acceleration profiles were approximated for smooth movement execution.

Customizing the controller was based on a set of training examples for the artificial neural net. They consisted of pairs of a user command and a corresponding prosthesis position. These examples were acquired interactively with a computer screen by teaching a nonhandicapped test person to generate clear and distinguishable command signals and to relate them to desired arm configurations. Then different feedforward nets were trained by error backpropagation.

With four pairs of electrodes mounted on a shoulder cap the test person was able to command positions involving four degrees of freedom, that is four joints. A simple net architecture proved to be enough to learn the training examples and to recognize with a hitting rate of up to 80 % the joint to be moved from out of noisy user commands. However, the test person was able to vary his commands only roughly. Therefore, the commanded joint angles were of low precision. Patients were not tested.

As an optional command source movements of the shoulder were measured with a goniometer. Through a customized transformation from shoulder angles into user coordinates the (non handicapped) test person was able to position a cursor on a computer screen.

In order to detect more reliable and better graduable command signals, sensors on or eventually in the body must be positioned more accurately and signal processing has to be improved. Also patients should be included in further experiments. Possible future steps are proposed at the end of this work.