การแยกแยะสัญญาณกล้ามเนื้อเพื่อการควบคุมรถเข็น

นาย กัมพล วิเชียรโหตุ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541
ISBN 974-331-840-2
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 20438990

EMG SIGNAL DISCRIMINATION FOR CONTROL OF A WHEEL CHAIR

Mr. Kampol Vichienhotu

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1998

ISBN 974-331-840-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแยกแยะสัญญาณกล้ามเนื้อเพื่อการควบคุมรถเข็น
โดย	นาย กัมพล วิเชียรโหตุ
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. มานะ ศรียุทธศักดิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

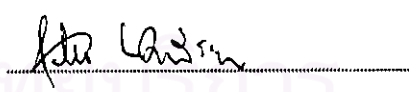
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. กิตติ อินทรานนท์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. มานะ ศรียุทธศักดิ์)



กรรมการ

(อาจารย์ สุวิทย์ นาคพีระยุทธ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กัมพล วิเชียรโหตุ : การแยกแยะสัญญาณกล้ามเนื้อเพื่อการควบคุมรถเข็น(EMG SIGNAL DISCRIMINATION FOR CONTROL OF A WHEEL CHAIR)
อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. มานะ ศรียุทธศักดิ์, 71 หน้า. ISBN 974-331-840-2

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการประดิษฐ์รถเข็นที่มีการควบคุมด้วยสัญญาณกล้ามเนื้อ ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วนคือ 1.วงจรวัดสัญญาณกล้ามเนื้อ 2.ระบบแยกแยะสัญญาณกล้ามเนื้อ และ 3.รถเข็นพร้อมระบบควบคุมการเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังต่อไปนี้ ในส่วนของวงจรวัดสัญญาณกล้ามเนื้อนั้น ออกแบบให้สามารถวัดสัญญาณในช่วงความถี่ 5-2000 Hz โดยมีอัตราขยายเท่ากับ 8400 เท่า และมีนอตช์ฟิลเตอร์สำหรับตัดสัญญาณรบกวน 50 Hz ในการวัดสัญญาณได้ใช้อิเล็กโทรดแบบผิวสัมผัส 1 ช่องสัญญาณ ทำการวัดที่ตำแหน่งไบเซ็ปส์

ในส่วนของระบบแยกแยะสัญญาณกล้ามเนื้อนั้น ได้ใช้บอร์ด DSK-TMS320C50 ทำการเก็บสัญญาณกล้ามเนื้อส่งไปเก็บบนคอมพิวเตอร์ โดยทำการสุ่มเก็บด้วยอัตราสุ่ม 4000 จุดข้อมูลต่อวินาที จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการหาตัวแทนของสัญญาณ โดยใช้วิธีผลการแปลงฟูริเยร์อย่างเร็ว และตัวกรองดิจิตอลแบบ FIR โดยได้แบ่งสัญญาณในเชิงความถี่ออกเป็น 7 ย่านความถี่ แล้วจึงนำเอาผลรวมของขนาดของสัญญาณในแต่ละย่านความถี่มาเป็นตัวแทนสัญญาณเพื่อนำไปทำการวิเคราะห์โดยใช้ระบบเครือข่ายประสาทแบบเคลื่อนกลับ ซึ่งมีอินพุต 7 โหนด ชั้นซ่อน 50 โหนด ชั้นเอาต์พุตเป็น 3 โหนด โดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น hardlimit ระบบสามารถแยกแยะอิริยาบถ 3 อิริยาบถ(อิริยาบถปกติ, เกร็งท่อนแขน, ยกของหนัก) ได้ด้วยความถูกต้องประมาณ 78 %

ในส่วนของรถเข็น และระบบควบคุมนั้น ได้ประดิษฐ์รถเข็นไฟฟ้าซึ่งทำการขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟตรง 2 ตัว ในการควบคุมทิศทางนั้น จะนำเอาผลการแยกแยะสัญญาณกล้ามเนื้อที่ได้มาทำการควบคุมรีเลย์ที่ต่อเชื่อมกับมอเตอร์โดยให้มีความสามารถในการเคลื่อนที่ 5 ลักษณะคือ หยุด, เดินหน้า, ถอยหลัง, เลี้ยวซ้าย, เลี้ยวขวา

จากการทดลองการใช้งานจริงพบว่า อิริยาบถแบบปกติสามารถแยกแยะได้สูงประมาณ 90 % ส่วนแบบถือของหนัก 4 kg แยกแยะได้ประมาณ 80 % แบบเกร็งแขนประมาณ 50 % ในการใช้งานแรกๆเป็นไปด้วยความลำบาก คือระบบยังแยกแยะได้ไม่ดี แต่เมื่อเริ่มฝึกไปสักพัก ก็จะเริ่มรู้ว่าควรจะเกร็งแขนแบบไหนถึงจะถูก และมีความสามารถในการแยกแยะสูงขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2541	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

#4070532121 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD:
Electromyography / Discrimination / Vehicle / Disable / Neural Network

KAMPOL VICHIENHOTU : EMG SIGNAL DISCRIMINATION FOR CONTROL OF A WHEEL CHAIR. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. MANA SRIYUDTHSAK, DR. Eng. 71 pp. ISBN 974-331-840-2

This thesis presents a construction of a wheel chair which is controlled by electromyography signal(EMG). It is composed of 3 main parts 1.EMG measuring circuit 2.EMG discrimination system 3.wheel chair and control system. In the part of measuring circuit, it was designed in order to measure signal in 5-2000 Hz band frequency with a gain of 8400 and notch filter for removing 50 Hz noise. 1-channel EMG surfaced electrode was used in the measurement at biceps position.

In the part of EMG discrimination system, DSK(TMS320C50) was applied to collect EMG signal at sampled rate of 4000 Hz and stored in the PC. Those signals were transferred from time domain to frequency domain using fast fourier transform and FIR digital filter, then they were separated to 7 frequency bands and the summation in each band was used in feature extraction process. Neural network was selected to discriminate the signals. It composed of 7 input nodes(feature selection), 50 hidden layer nodes, 3 output nodes with hardlimit transfer function. The designed system could discriminate 3 actions(normal, strength arm, lift a thing) with accuracy of 78%.

In the part of wheel chair and its control system, two dc motors were used for driving the wheel chair. In order to control the movement, the result of EMG discrimination was applied to control relay switches, which were connected to the motors. The wheel chair can be driven to move in 5 directions such as forward, backward, turn left, turn right and stop.

The completed system was tested and found that the system could discriminate normal, lift a thing action, strength arm action with accuracy of 90%, 80% and 50%, respectively. In the early state of using, it still has some problem in recognition. But after practice for a while the recognition rate became better and easy to control.

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต Kampol Vichienhotu

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Mana Sriyudthsak

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ระดับปริญญามหาบัณฑิตเรื่องนี้ได้ทำการวิจัยที่ ห้องปฏิบัติการวิจัยไบโออิเล็กทรอนิกส์(BERL) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ด้วยความช่วยเหลือทั้งในด้านวิชาการ และด้านปฏิบัติการจาก รศ.ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ อ.สุวิทย์ นาคพีระยุทธ ที่ได้ให้คำปรึกษาวิทยานิพนธ์ อ.อาภรณ์ ธีรมงคลรัศมี ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ ศ.ดร. กิตติ อินทรานนท์ สำหรับความเอื้อเฟื้ออิเล็กโทรดแบบผิวสัมผัส และแนะนำเทคนิคการวัดสัญญาณกล้ามเนื้อ

ขอขอบคุณ ศ.ดร. ราตรี สุดทรวง ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับที่มาของสัญญาณกล้ามเนื้อ

ขอขอบคุณทุนโครงการ"ศิษย์ก้นกุฏิ" ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา

ขอขอบคุณ นิสิตปริญญาโท เอก ทุกคนที่ให้ความอบอุ่น และความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณพัฒนา พันธุวงศ์ คุณ สุวิทย์ กิระวิทยา และ ชมรมประดิษฐ์วิศวกรรม (Engineering innovator club) ที่ให้คำแนะนำในการประดิษฐ์รถเข็น

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ซึ่งให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่

1. บทนำ..... 1
   - 1.1 ความเป็นมา..... 1
   - 1.2 วัตถุประสงค์..... 4
   - 1.3 วิธีการดำเนินการ..... 4
   - 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 6
2. สัญญาณกล้ามเนื้อ และอิเล็กโทรด..... 7
   - 2.1 ศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์..... 7
   - 2.2 สัญญาณกล้ามเนื้อ..... 8
   - 2.3 อิเล็กโทรด..... 11
3. วงจรวัดสัญญาณกล้ามเนื้อ..... 14
   - 3.1 วงจรภาคขยายผลต่าง..... 15
   - 3.2 วงจรนอตช์ฟิลเตอร์..... 16
   - 3.3 วงจรภาคกรองผ่านสูง..... 18
   - 3.4 วงจรภาคกรองผ่านต่ำ..... 19
   - 3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์..... 20
4. ทฤษฎีการประมวลผลสัญญาณ..... 23
   - 4.1 การออกแบบตัวกรองดิจิตอล..... 23
   - 4.2 Discrete-Time Fourier Transform..... 31
   - 4.3 การแสดงตัวเลขในระบบไบนารี..... 34
   - 4.4 ระบบเครือข่ายประสาท..... 34

สารบัญ(ต่อ)

บทที่

5. การทดลอง และผลการทดลอง..... 38
5.1 การเก็บผล และการศึกษาสัญญาณกล้ามเนื้อ..... 38
5.2 การหาตัวแทนสัญญาณ และการใช้งานร่วมกันกับระบบเครือข่ายประสาท..... 38
5.3 ผลของจำนวนบิตของ output layer..... 46
5.4 ศึกษาผลความแตกต่างของสัญญาณเมื่อเวลาเปลี่ยนไป..... 47
5.5 ลำดับการดำเนินงานในการเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี..... 47
6. การสร้างรถเข็นและการควบคุม..... 59
6.1 รถเข็น..... 59
6.2 คำสั่งในการควบคุมการเคลื่อนที่..... 60
7. สรุป 64
รายการอ้างอิง..... 66
ภาคผนวก..... 68
ประวัติผู้เขียน..... 71

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	สรุปผลงานวิจัยที่ผ่านมา.....	3
5.1	การเปรียบเทียบความถูกต้องในการวิเคราะห์โดยการใช้ฟังก์ชันโอนย้าย ระหว่างโหนดแบบ logsigmoid กับ tansigmoid.....	45
5.2	สรุปค่าลดทอนของตัวกรอง FIR ชนิดต่างๆ ที่ความถี่ 0 Hz	55
5.3	เปรียบเทียบผลรวมที่คำนวณได้จาก MATLAB กับแอสเซมบลี.....	56
5.4	การแสดงผลการแยกแยะด้วยหลอด LED สีเขียว 2 หลอด.....	58
6.1	ระดับสัญญาณดิจิตอลในการควบคุมการเคลื่อนที่.....	60

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมรถเข็น	5
1.2	บล็อกไดอะแกรมของการแยกแยะสัญญาณ	5
2.1	ศักย์ไฟฟ้าไวงาน(Action Potential)	8
2.2	มอเตอร์ยูนิต	9
2.3	ส่วนประกอบต่างๆของ Neuromuscular junction	10
2.4	การเคลื่อนที่ของศักย์ไฟฟ้าไวงาน	10
2.5	วงจรสมมูลย์ของอิเล็กโทรดในการวัดสัญญาณกล้ามเนื้อ	12
2.6	อิเล็กโทรดแบบ Ag-AgCl	13
3.1	ตำแหน่งกล้ามเนื้อไบเซ็ปส์(Biceps) ที่ทำการวัดสัญญาณกล้ามเนื้อ	14
3.2	วงจรวัดสัญญาณกล้ามเนื้อ	15
3.3	วงจรภาคขยายผลต่าง	15
3.4	วงจรนอตช์ฟิลเตอร์	17
3.5	ผลตอบทางความถี่ของนอตช์ฟิลเตอร์	17
3.6	วงจรกรองผ่านสูง	18
3.7	ผลตอบทางความถี่ของวงจรกรองผ่านสูง	19
3.8	วงจรกรองผ่านต่ำ	19
3.9	ผลตอบทางความถี่ของวงจรกรองผ่านต่ำ	24
3.10	บล็อกไดอะแกรมของ DSK	21
3.11	หน่วยความจำของ TMS320C50	21
4.1	Impulse invariance mapping	25
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองเชิงความถี่ของตัวกรองแอนะลอกกับตัวกรองดิจิตอล	25
4.3	bilinear transformation mapping	27
4.4	ขนาด(magnitude)ของการแปลงฟูริเยร์ 32จุดของสัญญาณซายน์ความถี่ 10 Hz ด้วยอัตราสุ่ม 64 Hz	33

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.5 ขนาด(magnitude) ของการแปลงฟูริเยร์ 32 จุดของสัญญาณซายน์ ความถี่ 11 Hz ด้วยอัตราสุ่ม 64 Hz..... 33

4.6 โครงข่ายของระบบประสาทแบบป้อนไปข้างหน้า(feed forward)..... 35

4.7 แบบจำลองของโครงข่ายระบบประสาทจำนวน 1 ชั้น..... 35

5.1 สัญญาณกล้ามเนื้อ:ปกติ..... 39

5.2 สัญญาณกล้ามเนื้อ:ยกของหนัก 4 kg..... 39

5.3 สัญญาณกล้ามเนื้อ:ยกของหนัก 1 kg..... 39

5.4 สัญญาณกล้ามเนื้อ:หมุนข้อมือ..... 40

5.5 สัญญาณกล้ามเนื้อ:ยืดแขนเกร็ง..... 40

5.6 สัญญาณกล้ามเนื้อ:กำมือ คลายมือ..... 40

5.7 สัญญาณกล้ามเนื้อ:กำมือแน่น..... 41

5.8 สัญญาณกล้ามเนื้อ:บิดข้อมือ..... 41

5.9 สเปกตรัมกำลังของสัญญาณกล้ามเนื้อ:ปกติ..... 42

5.10 สเปกตรัมกำลังของสัญญาณกล้ามเนื้อ:ยกของหนัก 4 kg..... 42

5.11 สเปกตรัมกำลังของสัญญาณกล้ามเนื้อ:ยกของหนัก 1 kg..... 42

5.12 สเปกตรัมกำลังของสัญญาณกล้ามเนื้อ:หมุนข้อมือไปกลับ..... 42

5.13 สเปกตรัมกำลังของสัญญาณกล้ามเนื้อ:ยืดแขนเกร็ง..... 42

5.14 สเปกตรัมกำลังของสัญญาณกล้ามเนื้อ:กำมือ แบมือ..... 42

5.15 สเปกตรัมกำลังของสัญญาณกล้ามเนื้อ:กำมือแน่น..... 43

5.16 สเปกตรัมกำลังของสัญญาณกล้ามเนื้อ:บิดข้อมือ..... 43

5.17 ไดอะแกรมของระบบเครือข่ายประสาทสำหรับการแยกแยะ..... 43

5.18 ผลความถูกต้องที่ได้จากการทดลอง(4 อิริยาบถ)..... 45

5.19 ผลความถูกต้องที่ได้จากการทดลอง(3 อิริยาบถ)..... 46

5.20 ผลความสามารถในการแยกแยะเมื่อกำหนด output layer เท่ากับ 2 บิต..... 46

5.21 สเปกตรัมกำลัง : ปกติ(1)..... 48

5.22 สเปกตรัมกำลัง : ปกติ(2) 48

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.23 สเปกตรัมกำลัง : ถือของหนัก 4 kg(1)..... 49
5.24 สเปกตรัมกำลัง : ถือของหนัก 4 kg(2) 49
5.25 สเปกตรัมกำลัง : เกร็งท่อนแขน (1) 50
5.26 สเปกตรัมกำลัง : เกร็งท่อนแขน (2) 50
5.27 สเปกตรัมกำลัง : กำมือแน่น(1) 51
5.28 สเปกตรัมกำลัง : กำมือแน่น(2) 51
5.29 Kaiser window(beta = 2.11662, N=155) 53
5.30 Kaiser window(beta = 4.53351, N=147)..... 53
5.31 Kaiser window(beta = 10.06, N=321)..... 53
5.32 Hamming window(N=151)..... 54
5.33 Chebyshev window(N=151, r=30)..... 54
5.34 Chebyshev window(N=151, r=50)..... 54
5.35 ผลตอบทางความถี่ของตัวกรองทั้ง 7 ตัว (MATLAB)..... 55
5.36 ผลความสามารถในการแยกแยะเมื่อใช้วิธีหาผลรวมของแต่ละย่านความถี่..... 56
5.37 ผลตอบทางความถี่ของตัวกรองทั้ง 7 ตัว (แอสเซมบลี)..... 57
6.1 โครงฐานด้านล่างของรถเข็น..... 59
6.2 วงจรควบคุมรีเลย์ และการต่อรีเลย์เข้ากับมอเตอร์ 60
6.3 แผนผังของอัลกอริธึมในการควบคุมการเคลื่อนที่..... 61

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย