การพัฒนาและออกแบบหุ่นยนต์เดินแบบหกขาอิสระ

นายพายุ คุ้มภัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1279-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20553542

DEVELOPMENT AND DESIGN OF A SIX-LEGGED WALKING ROBOT

Mr. Payu Koompai

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-1279-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาและออกแบบหุ่นยนต์เดินแบบหกขาอิสระ
โดย	นาย พายุ คุ้มภัย
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ไชยะภินันท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชทิน จันทร์เจริญ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.วิทยา วัณณสุโภประสิทธิ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พายุ คุ้มภัย : การพัฒนาและออกแบบหุ่นยนต์เดินแบบหกขาอิสระ. (DEVELOPMENT AND DESIGN OF A SIX-LEGGED WALKING ROBOT) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ, 94 หน้า. ISBN 974-03-1279-9

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ที่เดินด้วยขาที่มีลักษณะคล้ายแมลง คือมีหกขา โดยแต่ละขามีตัวประมวลผลที่ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของแต่ละขาอิสระต่อกันภายใต้การควบคุมของตัวประมวลผลกลาง ตัวประมวลผลกลางนี้จะทำหน้าที่ส่งคำสั่งที่สร้างลักษณะการเคลื่อนที่หรือการเดินของแต่ละขาไปยังตัวประมวลผลของขาหุ่นยนต์ การศึกษาจะครอบคลุมการออกแบบกลไกของตัวหุ่นยนต์ ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ และโปรแกรมที่ช่วยในการกำหนดท่าเดินแบบต่างๆให้กับหุ่นยนต์

การศึกษาการเดินของหุ่นยนต์จะศึกษาท่าเดินแบบต่างๆได้แก่ ท่าเดินแบบลูกคลื่นต่ำ (Slow wave gait) ท่าเดินแบบกระเพื่อม (Ripple gait) และท่าเดินแบบไทรพอด (Tripod gait) ซึ่งจะศึกษาการเดินทั้งบนพื้นราบและพื้นเอียง นอกจากนั้นยังติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้เพื่อช่วยให้หุ่นยนต์ตัดสินใจในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	ลายมือชื่อนิสิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	
ปีการศึกษา	2544	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

4170438021 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD: WALKING ROBOT / SIX-LEGGED ROBOT / GAIT

PAYU KOOMPAI : DEVELOPMENT AND DESIGN OF A SIX-LEGGED WALKING ROBOT. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.VIBOON SANGVERAPHUNSIRI,Ph.D, 94 pp.
ISBN 974-03-1279-9.

Design and development of a six-legged independent insect-like walking robot is studied in this thesis. The walking robot has 6 legs. Each leg is controlled independently by a processor under commands generated by a central processor. Each walking characteristic is complied into commands for each leg and will be sent to each leg-process by the main processor. The detail of the robot mechanism, electronic control, and control software are covered in this work. The control software is helping the operator to program different walking characteristics.

Three types of the walking characteristic, Slow wave, Ripple, and Tripod, are studied extensively on both flat and incline plane. In addition, the robot is equipped with sensors for helping robot to avoid obstructions.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Mechanical Engineering	Student's signature
Field of study Mechanical Engineering	Advisor's signature
Academic year 2001	Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ประกอบการวิจัยต่างๆ และให้ความรู้เรื่องหุ่นยนต์ และระบบควบคุมอัตโนมัติ ทั้งยังให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆของการวิจัยมาด้วยดีโดยตลอด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนทั้งในด้านทุนทรัพย์ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.5 ลำดับขั้นตอนในการวิจัย 2

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 รูปแบบทั่วไปของหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ได้โดยใช้ขา 3

2.1.1 หุ่นยนต์สองขา 4

2.1.2 หุ่นยนต์สี่ขา 5

2.1.3 หุ่นยนต์หกขา 7

2.2 งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวกับหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ได้โดยใช้ขาในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุมและหุ่นยนต์อุตสาหกรรม 11

บทที่ 3 การออกแบบ 13

3.1 การออกแบบกลไกของของขาหุ่นยนต์ 13

3.2 อุปกรณ์ขับดัน 21

3.3 อุปกรณ์ตรวจรู้ 23

3.3.1 อุปกรณ์วัดตำแหน่งมุมของข้อต่อ 23

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

3.3.2 อุปกรณ์ตรวจรู้ที่ใช้ค้นหาหรือป้องกัน
การชนสิ่งกีดขวางที่อยู่ข้างหน้า 24
3.3.2.1 อินฟาเรดเซ็นเซอร์ 24
3.3.2.1 ลิมิตสวิตช์ 24
3.4 คอมพิวเตอร์ 26
3.4.1 รูปแบบตัวควบคุม 26
3.4.2 ตัวประมวลผล 29
3.5 แหล่งจ่ายพลังงาน 31

บทที่ 4 คิเนแมติกส์ 32
4.1 ฟอร์เวิร์ดคิเนแมติกส์ 33
4.2 อินเวิร์ดคิเนแมติกส์ 36

บทที่ 5 การควบคุม 38
5.1 รูปแบบการเดินของหุ่นยนต์ที่จะศึกษา 38
5.2 โปรแกรมควบคุมท่าเดิน 41
5.2.1 โปรแกรมท่าเดินแบบไทรพอด (Tripod gait) 41
5.2.1.1 โปรแกรมของตัวประมวลผลของแต่ละขา
ของท่าเดินแบบไทรพอด (Tripod gait) 41
5.2.1.2 โปรแกรมของตัวประมวลผลกลาง
ของท่าเดินแบบไทรพอด (Tripod gait) 43
5.2.2 โปรแกรมท่าเดินแบบลูกคลื่นต่ำ (Slow wave gait) 48
5.2.2.1 โปรแกรมของตัวประมวลผลของแต่ละขา
ของท่าเดินแบบลูกคลื่นต่ำ (Slow wave gait) 48
5.2.2.2 โปรแกรมของตัวประมวลผลกลาง
ของท่าเดินแบบลูกคลื่นต่ำ (Slow wave gait) 50
5.2.3 โปรแกรมท่าเดินแบบกระเพื่อม (Ripple gait) 55
5.2.3.1 โปรแกรมของตัวประมวลผลของแต่ละขา
ของท่าเดินแบบกระเพื่อม (Ripple gait) 55

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

5.2.3.2 โปรแกรมของตัวประมวลผลกลาง
ของท่าเดินแบบกระเพื่อม (Ripple gait) 57
5.3 โปรแกรมช่วยเหลือการแก้ไขโปรแกรมการเดินของหุ่นยนต์ 63

บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง 70
6.1 ทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรง
ของท่าเดินแบบแต่ละแบบ 71
6.1.1 ทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรง
ของท่าเดินแบบไทรพอด (Tripod gait) 74
6.1.2 ทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรง
ของท่าเดินแบบกระเพื่อม (Ripple gait) 76
6.1.3 ทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรง
ของท่าเดินแบบลูกคลื่นต่ำ (Slow wave gait) 78
6.2 ทดลองเคลื่อนที่บนพื้นเอียงที่ความชันต่างๆ
ของท่าเดินแบบแต่ละแบบ 79

บทที่ 7 วิเคราะห์ สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 80
7.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง 80
7.1.1 ท่าเดินแบบไทรพอด (Tripod gait) 80
7.1.2 ท่าเดินแบบกระเพื่อม (Ripple gait) 81
7.1.3 ท่าเดินแบบลูกคลื่นต่ำ (Slow wave gait) 82
7.2 สรุปผลการทดลอง 82
7.3 ข้อเสนอแนะ 84

รายการอ้างอิง 86
ภาคผนวก 88
ภาคผนวก ก. Atmel MCU Flash Programmer รุ่น ET-AFP V1.0 89
ภาคผนวก ข. แผนผังการเดินสายเชื่อมต่อสัญญาณต่างๆ 93
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 94

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

3.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติด้านต่างๆระหว่างขาหุ่นยนต์แบบ a,b,c และ d 19
6.1 ผลการทดลองการเคลื่อนที่บนพื้นเอียงที่ความชันต่างๆของท่าเดินแต่ละแบบ 79

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2.1 การเดินที่มีการรักษาสมดุลของมนุษย์ 3

2.2 หุ่นยนต์ ASIMO 4

2.3 องศาความอิสระของแต่ละส่วนของหุ่นยนต์ ASIMO 4

2.4 จุดศูนย์กลางมวลของการเดินแบบสี่ขาและหกขา 5

2.5 ลำตัวที่แบ่งเป็นสองส่วนของ TITAN VI 6

2.6 กลไกขาของ TITAN VI 6

2.7 ลักษณะของขาแบบพิกัดทรงกลม 6

2.8 หุ่นยนต์ Hannibal 7

2.9 กลไลขาของ Hannibal 8

2.10 กลไกขาของ HEXAX-1 9

2.11 ระบบสายพาน คลัทช์ และ เบรก ของ HEXAX-1 10

2.12 การสร้างแบบจำลองขาของ TUM จากแมลง Walking Stick 10

2.13 หุ่นยนต์ที่ใช้ในงานวิจัยเรื่อง การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์บนระนาบแบบขนาน 11

2.14 กลไกแบบขนานที่ใช้ในงานวิจัยเรื่อง การออกแบบและพัฒนา
หุ่นยนต์บนระนาบแบบขนาน 12

3.1(a) ขาของหุ่นยนต์แบบ a ที่ถูกออกแบบในขั้นต้น 14

3.1(b) ขาของหุ่นยนต์แบบ b ที่ถูกออกแบบในขั้นต้น 15

3.1(c) ขาของหุ่นยนต์แบบ c ที่ถูกออกแบบในขั้นต้น 16

3.1(d) ขาของหุ่นยนต์แบบ d ที่ถูกออกแบบในขั้นต้น 17

3.2 แบบจำลองในคอมพิวเตอร์ของหุ่นยนต์ที่ถูกออกแบบในขั้นต้น 20

3.3 ชุดเฟืองภายในอาร์ซีเซอร์โว 21

3.4 พัลซ์ (Pulse) แคบสุดและกว้างสุดที่จ่ายให้อาร์ซีเซอร์โว เพื่อให้อาร์ซีเซอร์โว
เคลื่อนที่ไปที่ ตำแหน่งขวาสุด (Full Right) และ ซ้ายสุด (Full Left) ตามลำดับ 22

3.5 โพเทนชิโอมิเตอร์ และ วงจรสร้างระบบควบคุมแบบปิดที่ติดตั้งอยู่ภายในอาร์ซีเซอร์โว 23

3.6 โพเทนชิโอมิเตอร์ และ สัญลักษณ์ทางไฟฟ้า 23

3.7 อินฟาเรดเซ็นเซอร์ 24

3.8 ลิมิตสวิตช์ที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของหุ่นยนต์ 24

3.9 วงจรของลิมิตสวิตช์สองทาง 25

3.10 การต่อวงจรรับสถานะลิมิตสวิตช์ 25

ภาพประกอบ หน้า

3.11 การควบคุมแบบอนุกรมและแบบขนาน 27

3.12 การควบคุมหุ่นยนต์ 28

3.13 ตัวประมวลผล หมายเลข 89C51 (ซ้าย) และ 89C1051 (ขวา) 29

3.14 แบตเตอรี่ Panasonics Rechargeble Sealed Lead-Acid 12V 7.2 Ah 31

4.1 d,m และ h คือระยะ Offset ของขาหุ่นยนต์ตามแนว x,y และ z ตามลำดับ 32

4.2 ขาหุ่นยนต์ในระนาบ y'z' ซึ่งเป็นระนาบที่ทำมุม χ กับระนาบ yz 33

4.3 ขาหุ่นยนต์ในระนาบ xy 35

4.4 ขาหุ่นยนต์ในระนาบ y'z' ซึ่งเป็นระนาบที่ทำมุม χ กับระนาบ yz 36

5.1 แมลงกำลังเคลื่อนที่ไปข้างหน้า 38

5.2 โมเดลการเดินของแมลง ที่สังเกตได้โดยทั่วไป (Wilson 1966) 39

5.3 แผนผังการไหลแสดงการทำงานของตัวประมวลผลของแต่ละขา สำหรับโปรแกรมท่าเดินแบบไทรพอด (Tripod gait) 42

5.4 แผนผังการไหลแสดงการทำงานของตัวประมวลผลกลาง สำหรับโปรแกรมท่าเดินแบบไทรพอด (Tripod gait) 44

5.5 การสื่อสารระหว่างตัวประมวลผลสำหรับโปรแกรมท่าเดินแบบไทรพอด (Tripod gait) 45

5.6 แผนผังการไหลแสดงการทำงานของตัวประมวลผลของแต่ละขา สำหรับโปรแกรมท่าเดินแบบลูกคลื่นต่ำ (Slow wave gait) 49

5.7 แผนผังการไหลแสดงการทำงานของตัวประมวลผลกลาง สำหรับโปรแกรมท่าเดินแบบลูกคลื่นต่ำ (Slow wave gait) 50

5.7.1 การสื่อสารระหว่างตัวประมวลผลสำหรับโปรแกรมท่าเดินแบบลูกคลื่นต่ำ (Slow wave gait) 51

5.9 แผนผังการไหลแสดงการทำงานของตัวประมวลผลของแต่ละขา สำหรับโปรแกรมท่าเดินแบบกระเพื่อม (Ripple gait) 56

5.10 แผนผังการไหลแสดงการทำงานของตัวประมวลผลกลาง สำหรับโปรแกรมท่าเดินกระเพื่อม (Ripple gait) 57

5.10.1 การสื่อสารระหว่างตัวประมวลผลสำหรับโปรแกรมท่าเดินแบบกระเพื่อม (Ripple gait) 58

5.12 หุ่นยนต์เดินหลบหลีกสิ่งกีดขวางภายในห้อง 63

ภาพประกอบ หน้า

5.13 เมนท์เมนูของโปรแกรม 64
5.14 ภายในเมนู Master ของโปรแกรม 65
5.15 ภายในเมนู Edit Tasks ของโปรแกรม 66
5.16 เมนู List of tasks ของโปรแกรม 67
5.17 ภายในเมนู Slave ของโปรแกรม 68
5.18 ภายในเมนู Edit Speed ของโปรแกรม 68
5.19 ภายในเมนู Quit ของโปรแกรม 69
6.1 หุ่นยนต์ที่สร้างขึ้น 70
6.2 หัวเลเซอร์ขนาดเล็กที่ติดกับตัวหุ่นยนต์ 71
6.3 การทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรงของท่าเดินแบบแต่ละแบบ 72
6.4 การวัดระยะเบี่ยงเบนจะวัดจากตำแหน่งศูนย์กลางของหุ่นยนต์ ไปตั้งฉากกับเส้นทางที่กำหนดขึ้น 73
6.5 ผลการทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรง ของท่าเดินแบบไทรพอด (Tripod gait) ที่ความเร็ว 1.0 เซนติเมตรต่อวินาที 74
6.6 ผลการทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรง ของท่าเดินแบบไทรพอด (Tripod gait) ที่ความเร็ว 1.5 เซนติเมตรต่อวินาที 74
6.7 ผลการทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรง ของท่าเดินแบบไทรพอด (Tripod gait) ที่ความเร็ว 2.0 เซนติเมตรต่อวินาที 75
6.8 ผลการทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรง ของท่าเดินแบบไทรพอด (Tripod gait) ที่ความเร็ว 2.5 เซนติเมตรต่อวินาที 75
6.9 ผลการทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรง ของท่าเดินแบบไทรพอด (Tripod gait) ที่ความเร็ว 3.0 เซนติเมตรต่อวินาที 75
6.10 ผลการทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรง ของท่าเดินแบบไทรพอด (Tripod gait) ที่ความเร็ว 3.5 เซนติเมตรต่อวินาที 76
6.11 ผลการทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรง ของท่าเดินแบบไทรพอด (Tripod gait) ที่ความเร็ว 4.0 เซนติเมตรต่อวินาที 76
6.12 ผลการทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรง ของท่าเดินแบบกระเพื่อม (Ripple gait) ที่ความเร็ว 0.5 เซนติเมตรต่อวินาที 76

ภาพประกอบ หน้า

6.13 ผลการทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรง ของท่าเดินแบบกระเพื่อม (Ripple gait) ที่ความเร็ว 1.0 เซนติเมตรต่อวินาที 77

6.14 ผลการทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรง ของท่าเดินแบบกระเพื่อม (Ripple gait) ที่ความเร็ว 1.5 เซนติเมตรต่อวินาที 77

6.15 ผลการทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรง ของท่าเดินแบบกระเพื่อม (Ripple gait) ที่ความเร็ว 2.0 เซนติเมตรต่อวินาที 77

6.16 ผลการทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรง ของท่าเดินแบบลูกคลื่นต่ำ (Slow wave gait) ที่ความเร็ว 0.25 เซนติเมตรต่อวินาที 78

6.17 ผลการทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรง ของท่าเดินแบบลูกคลื่นต่ำ (Slow wave gait) ที่ความเร็ว 0.5 เซนติเมตรต่อวินาที 78

6.18 การทดลองการเคลื่อนที่บนพื้นเอียงที่ความชันต่างๆของท่าเดินแต่ละแบบ 79

7.1 ผลการทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรง ของท่าเดินแบบไทรพอด (Tripod gait) ที่ความเร็วต่างๆ 80

7.2 ผลการทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรง ของท่าเดินแบบกระเพื่อม (Ripple gait) ที่ความเร็วต่างๆ 81

7.3 ผลการทดลองเคลื่อนที่บนพื้นราบในแนวเส้นตรง ของท่าเดินแบบลูกคลื่นต่ำ (Slow wave gait) ที่ความเร็วต่างๆ 82

7.4 ความไม่แข็งเกร็งของกลไก 83

ก.1 Atmel MCU Flash Programmer รุ่น ET-AFP V1.0 89

ก.2 ลักษณะเมนูหลักของโปรแกรม ET-AFPV1.EXE 91

ข.1 แผนผังการเดินสายเชื่อมต่อสัญญาณต่างๆ 93

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย