

รายการอ้างอิง



1. Raibert, M. H.; Craig, J. J. Hybrid Position/Force Control of Manipulators. **ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control**, Vol. 102 (June 1981): 126-133.
2. Hogan, N. Impedance Control: An Approach to Manipulation: Part I - Theory, Part II – Implementation, Part III – Applications. **Trans of the ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control**, Vol. 107 (March 1985): 1-24.
3. Anderson, R. J.; Spong, M. W. Hybrid Impedance Control of Robotic Manipulators. **IEEE Journal of Robotics and Automation**, Vol. 4, No. 5, (October 1988): 549-556.
4. Yoshikawa, T.; Sugie, T.; Tanaka, M. Dynamic Hybrid Position/Force Control of Robot Manipulators – Controller Design and Experiment. **IEEE Journal of Robotics and Automation**, Vol. 4, No. 6 (December 1988): 699-705.
5. Stokic, D. M.; Vukobratovic, M. K. An Adaptive Hybrid Control Scheme for Manipulation Robots with Implicit Force Control. IEEE, 1991.
6. Surdilovic, D.; Kirchhof, J. A New Position Based Force/Impedance Control for Industrial Robots. **Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Minneapolis, Minnesota, April 1996.**
7. Volpe, R.; Khosla, P. Theoretical Analysis and Experimental Verification of a Manipulator/Sensor/Environment Model for Force Control. **Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Los Angeles, November 1990.**
8. Volpe, R.; Khosla, P. Experiment Verification of a Strategy for Impact Control. **Proceedings of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Sacramento, California, April 1991.**
9. Volpe, R.; Khosla, P. An Experimental Evaluation and Comparison on Explicit Force Control Strategies for Robotic Manipulators. **Proceedings of the 1992 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Nice, France, May 1992.**
10. Lu, Z.; Kawamura, S.; Goldenberg, A. A. An Approach to Sliding Mode-Based Impedance Control. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, Vol. 11, No. 5 (October 1995).

11. Kwan, C. M. Hybrid Force/Position Control for Manipulators with Motor Dynamics Using a Sliding-Adaptive Approach. **IEEE Transactions on Automatic Control**, Vol. 40, No. 5 (May, 1995).
12. Slotine, J. J.; Li, W. **Applied Nonlinear Control**. Prentice-Hall International, 1991
13. Hsu, F. Y.; Fu, L. C. A New Design of Adaptive Fuzzy Hybrid Force/Position Controller for Robot Manipulators. **Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Robotics and Automation**, 1995.
14. Hsu, F. Y.; Fu, L. C. Adaptive Fuzzy Hybrid Force/Position Control for Robot Manipulators Following Contours of an Uncertain Object. **Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Robotics and Automation**, Minneapolis, Minnesota, April 1996.
15. Tangpornprasert, P. **Hybrid Force-Position Control of a Robot Manipulator Arm**. Master's Thesis, Mechanical Engineering Department, Graduate School, Chulalongkorn University, 1996.
16. Boworn Panyaworawat. **Adaptive Implicit Control**. Master's Thesis, Mechanical Engineering Department, Graduate School, Chulalongkorn University, 2000.
17. Hill, J.; Park, W. T. Real time control of a robot with a mobile camera. **Proceedings of the 9th ISIR**, Washington D.C., Mar 1979, pp. 233-246.
18. Geschke, C. A Robot Task Using Visual Tracking. **Robotics Today**, (Winter 1981-1982).
19. Clocksin, W. F.; Bromley, J. S. E.; Davey, P. G.; Vidler, A. R.; Morgan, C. G. An Implementation of Model-Based Visual Feedback for Robot Arc Welding of Thin Sheet Steel. **The International Journal of Robotic Research**, Vol. 4, No. 1 (Spring 1985).
20. Kabuka, M.; McVey, E.; Shironoshita, P. An Adaptive Approach to Video Tracking. **IEEE Journal of Robotics and Automation**, Vol. 4, No. 2 (April 1998).
21. Zhuang, X.; Huang, T. S.; Haralick, R. M. A Simple Procedure to Solve Motion and Structure from Three Orthographic Views. **IEEE Journal of Robotics and Automation**, Vol. 4, No. 2 (April 1998).
22. Sanderson, A. C.; Weiss, L. E. Adaptive visual servo control of robots. In *Robot Vision* Ed: Pugh A. IFS 1983.
23. Weiss, L. E. **Dynamic Visual Servo Control of Robots: An Adaptive Image-Based Approach**. Ph.D. Thesis, CMU, 1984.

24. Weiss, L. E.; Sanderson, A. C.; Neumann, C. P. Dynamic Sensor-Based Control of Robots with Visual Feedback. **Journal of Robotics and Automation**, v. RA-3 1987.
25. Chongstitvatana, P.; Conkie, A. Behavior Based Assembly Experiments using Vision Sensing. DAI TR #466, University of Edinburgh, 1990.
26. Conkie, A.; Chongstitvatana, P. An Uncalibrated Stereo Visual Servo System. DAITR#475, University of Edinburgh, 1990.
27. Chongstitvatana, P. **The Design and Implementation of Vision-Based Behavioral Modules for a Robotic Assembly System**. Ph.D. Thesis, University of Edinburgh, 1990.
28. Feddema, J. T.; Lee, G. C. S.; Mitchell, O. R. Weighted selection of Image Features for Resolved Rate Visual Feedback Control. **IEEE Transaction on Robotics and Automation**, Vol. 7, No. 1 (February 1991): 31-47.
29. Zheng, J. Y.; Chen, Q.; Tsuji, S. Active Camera Guided Manipulation. **Proceedings of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation**, Sacramento, California, April 1991.
30. Wijesoma, S. W.; Wolfe, D. F. H.; Richards, R. J. Eye-to-Hand Coordination for Vision-Guided Robot Control Application. **The International Journal of Robotics Research**, Vol. 12, No. 1 (February, 1993).
31. Kubota, Takashi; Hashimoto, Hideki. **Neural Networks for Robotic Control: theory and applications; Visual control of robotic manipulator based on neural networks**. Ellis Horwood, pp. 218-244.
32. Hager, Gregory D. **Real-Time Feature Tracking and Projective Invariance as a Basis for Hand-Eye Coordination**. DCS RR-1010. Yale University, New Heaven, CT, January 1994.
33. Tsui, H. T.; Zhang, Z. Y., Kong, S. H. Feature Tracking from an Image Sequence Using Affine Invariant and Hough Transform. **Intelligent Robots and Computer Vision XV, SPIE's Photonics East'96**, November 1996.
34. Corke, P. I.; Good, Malcolm C. Dynamic Effects in Visual Closed-Loop Systems. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, Vol. 12, No. 5 (October 1996).
35. Wilson, W. J.; Hulls, C. C. Williams; Bell, Graham S. Relative End-Effector Control Using Cartesian Position Based Visual Servoing. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, Vol. 12, No. 5 (October, 1996).

36. Hashimoto, K.; Ebine, T.; Kimura, H. Visual Servoing with Hand-Eye Manipulation – Optimal Control Approach. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, Vol. 12, No. 5 (October, 1996).
37. Khadraoui, D.; Motyl, G., Martinet, P.; Gallice, J.; Chaumette, F. Visual Servoing in Robotics Scheme Using a Camera/Laser-Stripe Sensor. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, Vol. 12, No. 5 (October, 1996).
38. Kelly, Rafale. Robust Asymptotically Stable Visual Servoing of Planar Robots. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, Vol. 12, No. 5 (October, 1996).
39. Sutanto, H.; Sharma, R.; Varma, V. Image based Autodocking without Calibration. **Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation**, Albuquerque, New Mexico, April 1997.
40. Shunjia, Yu; Rueywen, Liu. A New Edge Detection Algorithm: Fast and Localizing to a Single Pixel. **IEEE**, 1993.
41. Davies, E.R.; Celano, D. Orientation Accuracy of Edge Detection Operators Acting On Binary and Saturated Grey-Scale Images. **Electronics Letters**, Vol. 29, No. 7 (April 1993).
42. Shao, Suyi; Staudhammer, John; Grams, Ralph R. Pixel-Feature-Controlling Edge Detection Based on Regularization (PEDBOR). **IEEE**, 1993.
43. WU, Paul S.; LI, Ming. Fast Edge Detection for Color Image. **Proceeding of ICSP' 96**, 1996: 871-874.
44. Hutchinson, S.; Hager, G. D.; Corke, P. I. A Tutorial on Visual Servo Control. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, Vol. 12, No. 5 (October, 1996).
45. Castano, A., Hutchinson, S. Hybrid Vision/Position Servo Control of a Robotic Manipulator. **Proceedings of the 1992 IEEE International Conference on Robotics and Automation**, Nice, France, May 1992.
46. Nelson, B. J.; Morrow, J. D.; Khosla, P. K. Improved Force Control Through Visual Servoing. **1995 American Control Conference**, Seattle, Washington, June 1995.
47. Nelson, B.; Khosla, P. K. Force and Vision Resolvability for Assimilating Disparate Sensory Feedback. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, Vol. 12, No. 5 (October, 1996).
48. Nelson, B.; Khosla, P. K. Integrating Force and Vision Feedback Within Virtual Environments for Telerobotic Systems. **Proceedings of the 1997 IEEE**

International Conference on Robotics and Automation, Albuquerque, New Mexico, April 1997.

49. Hosoda, Koh; Igarashi, Katsuji; Asada, Minoru. Adaptive Hybrid Visual Servo/Force Control in Unknown Environment. **Proceedings of the 1996 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System (IROS 96)**, Osaka, 1996.
50. Morel, G.; Malis, E., Boudet, S. Impedance based combination of visual and force control. **Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation**, Leuven, Belgium, May 1998.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมจำลองการทำงาน

ภาคผนวก ก. แสดงถึงรายละเอียดโปรแกรมจำลองการทำงาน (Source code) ภาษา MatLAB[®] ซึ่งประกอบด้วย

- โปรแกรมจำลองการควบคุมแขนกลด้วยกล้องดิจิตอลกับหุ่นยนต์ แบบ SCARA 2 DOF (หัวข้อ 4.6)
- โปรแกรมจำลองการควบคุมแขนกลด้วยกล้องดิจิตอลกับหุ่นยนต์ PUMA 560 (หัวข้อ 4.7)
- โปรแกรมจำลองการควบคุมแขนกลด้วยกล้องดิจิตอลกับหุ่นยนต์ Stanford Arm (หัวข้อ 4.7)
- โปรแกรมจำลองการควบคุมแขนกลแบบผสมระหว่างแรง/รูปภาพ (หัวข้อ 6.8)

โปรแกรมจำลองการควบคุมแขนกลด้วยกล้องดิจิทัลกับหุ่นยนต์ แบบ SCARA 2 DOF

ภาษาที่ใช้: Matlab® Version 5.2

Toolbox: Robot Toolbox

โปรแกรมหลัก

```
% Image Based Control Simulation on SCARA robot
% Approximate Jacobian Method
% Ratchatin Chanchoen,
% Copyright (c) 2000-2010 by Chulalongkorn university.
% $Revision: 1.0 $ $Date: 1999/10/15 $

% ===== Parameters
Stp = 0.05; % Step size

% ===== Initial Positions
i=1;
q(1:2,i) = pi*[0; 0.5];
P = SCARA_Visual(q(1:2,i));
E(i) = P'*P;

% ===== First Move
DQ = [Stp 0; 0 Stp];
for i=2:3,
    Pi = P;
    dq = DQ(1:2,i-1);
    q(1:2,i) = q(1:2,i-1) + dq;
    P = SCARA_Visual(q(1:2,i));
    DF(1:2,i-1) = P-Pi;
    E(i) = P'*P;
end

% ===== Iterative Stp
i=i+1;
Max_iter = 2500; % Maximum iteration

while E(i-1) > 0.01 & i < Max_iter,

    J = DF*inv(DQ);
    Sens(i) = det(J);
    dq1 = -0.01*inv(J)*P;
    dq = -Stp*inv(J)*P/norm(inv(J)*P);
    if (dq1 < dq)
        dq = dq1;
    end
    q(1:2,i) = q(1:2,i-1) + dq;
    Pi=P;
    P = SCARA_Visual(q(1:2,i));

    E(i) = P'*P;
    DF(1:2,1) = DF(1:2,2);
    DF(1:2,2) = P-Pi;
    DQ(1:2,1) = DQ(1:2,2);
    DQ(1:2,2) = dq;

    i=i+1;

end
```



```

% ===== Display robot path
L1 = 10;
L2 = 10;
Lx = 0;
for j=1:i-1,

X(j) = L1*cos(q(1,j))+L2*cos(q(1,j)+q(2,j))-Lx*sin(q(1,j)+q(2,j));
Y(j) = L1*sin(q(1,j))+L2*sin(q(1,j)+q(2,j))+Lx*cos(q(1,j)+q(2,j));

end
plot(X,Y);

```

ฟังก์ชันจำลองการทำงานของหุ่นยนต์แบบ SCARA ที่มีความอิสระเท่ากับสอง

```

function SCARA_Visual = SCARA_Visual(q);
% ===== Target Position
Pg = [0 5]';

% ===== Camera Parameter
z = 1;
Lamda = 1;

% ===== Link Parameters
L1 = 10;
L2 = 10;
Lx = 0;

% ===== Positions
P(1) = L1*cos(q(1)) + L2*cos(q(1)+q(2)) - Lx*sin(q(1)+q(2));
P(2) = L1*sin(q(1)) + L2*sin(q(1)+q(2)) + Lx*cos(q(1)+q(2));
P(3) = q(1) + q(2) + pi;
T = [cos(P(3)) sin(P(3));
     -sin(P(3)) cos(P(3))];

% ===== Visual Parameter
SCARA_Visual = Lamda/z*T*[Pg-P(1:2)'];

```

โปรแกรมจำลองการควบคุมแขนกลด้วยกล้องดิจิตัลกับหุ่นยนต์ PUMA 560

ภาษาที่ใช้: Matlab® Version 5.2

Toolbox: Robot Toolbox

โปรแกรมหลัก

```
% Image Based Control Simulation on PUMA 560 Manipulator Arm
% Approximate Jacobian Method
% Ratchatin Chanchaon,
% Copyright (c) 2000-2010 by Chulalongkorn university.
% $Revision: 1.0 $ $Date: 1999/10/15 $

% ===== Parameters
puma560;
Stp = 0.0025;          Step size

% ===== Initial Positions
i=1;
q(1:6,i) = [0 0 0 0 0 0]';
P=PUMA_Visual(q(1:6,i));
E(1:3,i) = P';

% ===== Initial Move
DQ = [Stp 0 0;
      0 Stp 0;
      0 0 Stp];

for i=2:4,
    q(1:3,i) = q(1:3,i-1) + DQ(:,i-1);
    q(4:6,i) = [0 0 0]';
    P=PUMA_Visual(q(1:6,i));
    E(1:3,i) = P';
    DF(1:3,i-1) = E(1:3,i)-E(1:3,i-1);
end

% ===== Iterative Move
Max_iter = 600;      % Maximum iteration
i=i+1;

while i < Max_iter,

    J = DF*inv(DQ);

    Del = -Stp*inv(J)*E(:,i-1)/norm(inv(J)*E(:,i-1));

    q(1:3,i) = q(1:3,i-1) + Del;
    q(4:6,i) = [0 0 0]';

    P=PUMA_Visual(q(1:6,i));
    E(1:3,i) = P';

    DF(1:3,1) = DF(1:3,2);
    DF(1:3,2) = DF(1:3,3);
    DF(1:3,3) = E(1:3,i)-E(1:3,i-1);

    DQ(1:3,1) = DQ(1:3,2);
    DQ(1:3,2) = DQ(1:3,3);
```

```

DQ(1:3,3) = Del;

i=i+1;

end

% ===== Display movement

plotbot(p560,q');

```

ฟังก์ชันจำลองการทำงานของหุ่นยนต์ PUMA560

```

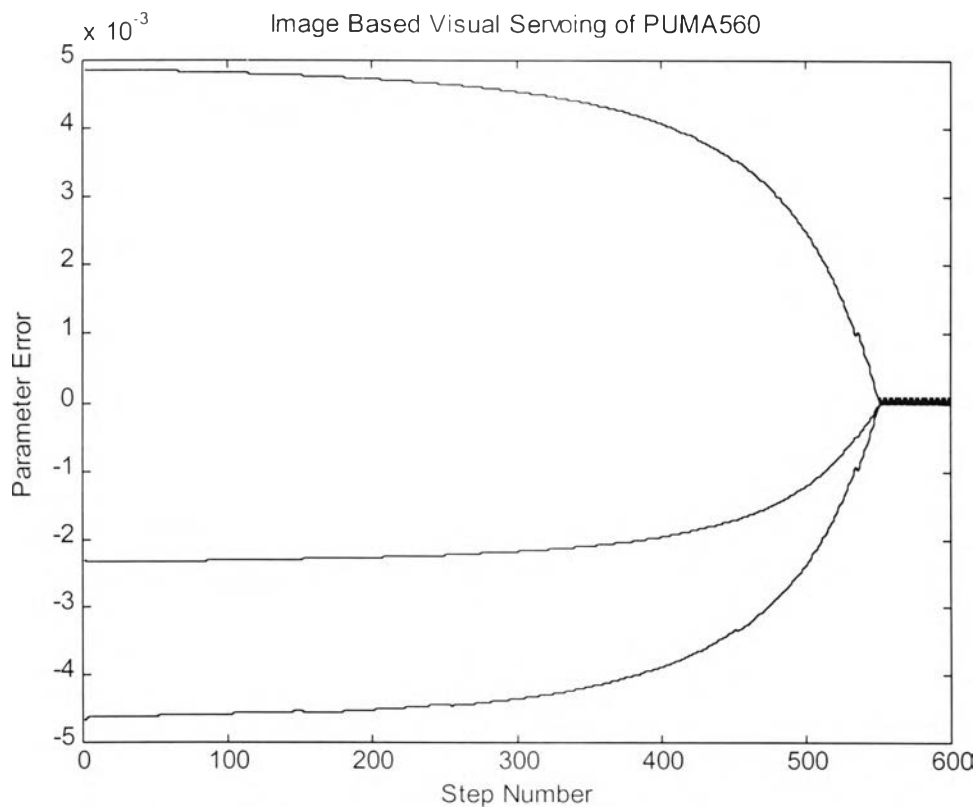
function PUMA_Visual = PUMA_Visual(q)
% ===== Target
Pg = [0.25 -0.25 0.005]';

% ===== Robot and Camera Parameter
puma560;
Lamda = 0.01;

% ===== Kinematics
T = rkine(p560,q);
P = T(1:3,4);
R = T(1:3,1:3);
uv = Lamda/P(3)*(Pg(1:2)-P(1:2));
A = Pg(3)-(Lamda/P(3)*0.5)^2;
PUMA_Visual(1:2) = uv;
PUMA_Visual(3) = A;

```

ผลลัพธ์การจำลอง



รูปที่ ก.1 ผลลัพธ์การจำลองควบคุมหุ่นยนต์ PUMA 560 ด้วยกล้องดิจิทัล

โปรแกรมจำลองการควบคุมแขนกลด้วยกล้องดิจิทัลกับหุ่นยนต์ Stanford Arm

ภาษาที่ใช้: Matlab® Version 5.2

Toolbox: Robot Toolbox

โปรแกรมหลัก

```
% Image Based Control Simulation on Stanford Arm
% Approximate Jacobian Method
% Ratchatin Chanchaon,
% Copyright (c) 2000-2010 by Chulalongkorn university.
% $Revision: 1.0 $ $Date: 1999/10/15 $

% ===== Parameters
stanford;
Stp = 0.005; % Step size

% ===== Initial Positions
i=1;
q(1:6,i) = [0 pi/3 -pi/4 0 0 0]';
P=Stanford_Visual(q(1:6,i));
E(1:3,i) = P';

% ===== Initial Move
DQ = [Stp 0 0;
      0 Stp 0;
      0 0 Stp];

for i=2:4,
    q(1:3,i) = q(1:3,i-1) + DQ(:,i-1);
    q(4:6,i) = [0 0 0]';
    P=Stanford_Visual(q(1:6,i));
    E(1:3,i) = P';
    DF(1:3,i-1) = E(1:3,i)-E(1:3,i-1);
end

% ===== Iterative Move
Max_iter = 500; % Maximum iteration
i=i+1;

while i < Max_iter,

    J = DF*inv(DQ);

    Dell = -0.01*inv(J)*E(:,i-1);
    Del = -Stp*inv(J)*E(:,i-1)/norm(inv(J)*E(:,i-1));
    if (Dell < Del)
        Del = Dell;
    end

    q(1:3,i) = q(1:3,i-1) + Del;
    q(4:6,i) = [0 0 0]';

    P=Stanford_Visual(q(1:6,i));
    E(1:3,i) = P';

    DF(1:3,1) = DF(1:3,2);
    DF(1:3,2) = DF(1:3,3);
```

```

DF(1:3,3) = E(1:3,i)-E(1:3,i-1);
DQ(1:3,1) = DQ(1:3,2);
DQ(1:3,2) = DQ(1:3,3);
DQ(1:3,3) = Del;

i=i+1;

end

plotbot(stanf,q');

```

ฟังก์ชันจำลองการทำงานของหุ่นยนต์ Stanford Arm

```

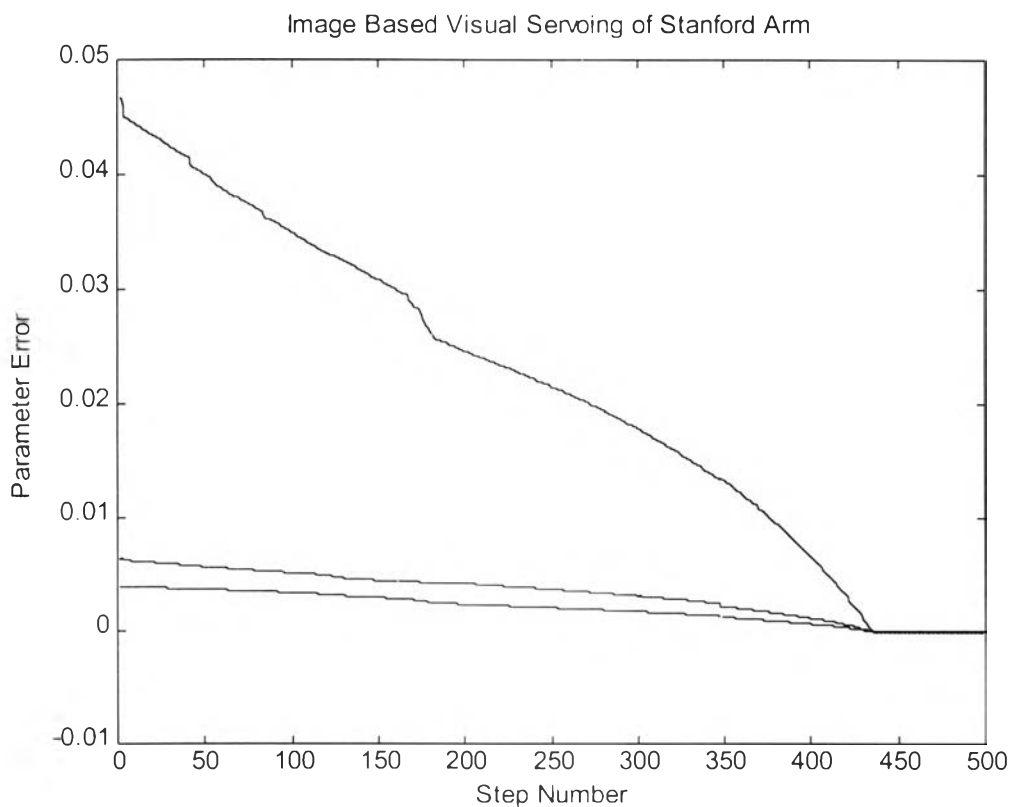
function stanford_Visual = stanford_Visual(q)
% ===== Target
Pg = [0.25 0.25 0.005]';

% ===== Robot and Camera Parameter
stanford;
Lamda = 0.01;

% ===== Kinematics
T = fkine(stanf,q);
P = T(1:3,4);
R = T(1:3,1:3);
uv = Lamda/P(3)^(Pg(1:2)-P(1:2)) ;
A = Pg(3)-(Lamda/P(3)*0.5)^2;
stanford_Visual(1:2) = uv;
stanford_Visual(3) = A;

```

ผลลัพธ์การจำลอง



รูปที่ ก.2 ผลลัพธ์การจำลองควบคุมแขนกล Stanford Arm ด้วยกลองติจิดัล

โปรแกรมจำลองการควบคุมแขนกลแบบผสมระหว่างแรง/รูปภาพ

ภาษาที่ใช้: Matlab® Version 5.2

Toolbox: Robot Toolbox

โปรแกรมหลัก

```
% Image Based Control Simulation on 2D Articulated Manipulator Arm
% Approximate Jacobian
% Ratchatin Chanchaon,
% Copyright (c) 2000-2010 by Chulalongkorn university.
% $Revision: 1.0 $ $Date: 1999/10/1 $

% ===== Parameters
Stp = 0.01; % Step size
for i=1:1000,
    Goal(1:2,i) = [0 10*sin(i*pi/1000)]';
end

% ===== Initial Positions
i=1;
q(1:2,i) = [pi/3 -pi/3]';
[qp X Fz]=Robot2D(q(1:2,i));
P = Goal(1:2,i)' - [X Fz];
E(1:2,i) = P';

% ===== Initial Move
DQ = [Stp 0;
      0 Stp];

for i=2:3,
    q(1:2,i) = q(1:2,i-1) + DQ(:,i-1);
    [qp X Fz]=Robot2D(q(1:2,i));
    P = Goal(1:2,i)' - [X Fz];
    E(1:2,i) = P';
    DF(1:2,i-1) = E(1:2,i)-E(1:2,i-1);
end

% ===== Iterative Move
Max_iter = 1001; % Maximum iteration
i=i+1;

while i < Max_iter,

    J = DF*inv(DQ);

    P = Goal(1:2,i)' - [X Fz];
    Del = -Stp*inv(J)*P';
    q(1:2,i) = q(1:2,i-1) + Del;
    [qp X Fz]=Robot2D(q(1:2,i));
    P = Goal(1:2,i)' - [X Fz];
    E(1:2,i) = P';

    DF(1:2,1) = DF(1:2,2);
    DF(1:2,2) = E(1:2,i)-E(1:2,i-1);

    DQ(1:2,1) = DQ(1:2,2);
    DQ(1:2,2) = Del;
```

```

        i=i+1;

end

fid = fopen('data.txt','w');
fprintf(fid,'%7.4f \t %7.4f \n',E);
fclose(fid);

plot([Goal'+E' Goal'])

```

ฟังก์ชันจำลองการทำงานของหุ่นยนต์สองชั้นต่อวงบรรางไร้แรงเสียดทาน

```

function [qp, x, Fz] = Robot2D(q)
l=10;
k = 1;
lamda = 1;
z = 1;
qp = (q(1)-2*q(2))/5;
x = (lamda/z)*2*l*cos(qp);
Fz = k*(q(1)-qp)/(2*l*cos(qp));

```

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลการทดสอบกับหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

ภาคผนวก ข. แสดงถึงรายละเอียดข้อมูลจากการทดลองกับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมของบริษัท CRS Robotic Inc ในการทดลองต่างประกอบด้วย

- ผลการทดลองการควบคุมพารามิเตอร์รูปภาพของหุ่นยนต์จากบริษัท CRS Robotic Inc (รูปที่ 4.7)
- ผลการทดลองการควบคุมพารามิเตอร์รูปภาพของหุ่นยนต์จากบริษัท CRS Robotic Inc เมื่อความยาวช่วงก้าวเดินมีค่าต่างๆ กัน (รูปที่ 4.8)
- ผลการทดลองการควบคุมพารามิเตอร์รูปภาพของหุ่นยนต์จากบริษัท CRS Robotic Inc เมื่อตำแหน่งเริ่มต้นมีค่าต่างๆ กัน (รูปที่ 4.10)
- ผลการทดลองการควบคุมพารามิเตอร์รูปภาพของหุ่นยนต์จากบริษัท CRS Robotic Inc (รูปที่ 4.15)
- ผลการทดลองการควบคุมพารามิเตอร์รูปภาพของหุ่นยนต์จากบริษัท CRS Robotic Inc (การทดลองเสริมเพื่อแสดงสิ่งที่กล้องมองเห็นในก้าวเดินต่างๆ)

ผลการทดลองการควบคุมพารามิเตอร์รูปภาพของหุ่นยนต์จากบริษัท CRS Robotic Inc

พารามิเตอร์ควบคุม: ตำแหน่งวัตถุในรูปภาพในแนวนอน (u) และแนวตั้ง (v)

เป้าหมาย u และ v เป็นศูนย์

ความยาวช่วงก้าวเดิน: 0.025

ตารางที่ ข.1 ตารางข้อมูล

Step No.	u (pixel)	v (pixel)	Joint 1	Joint 2	DQ	DF	J
0	-162	177	0	0	Initial Movement		
1	-157	164	0.005	0			
2	-149	162	0	0.005	$\begin{bmatrix} 0 & 0.005 \\ 0.005 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 8 & 5 \\ -2 & -13 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1000 & 1600 \\ -2600 & -400 \end{bmatrix}$
3	-103	115	0.016574	0.018716	$\begin{bmatrix} 0.016574 & 0 \\ 0.018716 & 0.005 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 46 & 8 \\ -47 & -2 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 969 & 1600 \\ -2384 & -400 \end{bmatrix}$
4	-60	65	0.018042	0.017306	$\begin{bmatrix} 0.018042 & 0.016574 \\ 0.017306 & 0.018716 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 43 & 46 \\ -50 & -47 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 172 & 2306 \\ -2408 & -379 \end{bmatrix}$
5	-31	33	0.011586	0.012148	$\begin{bmatrix} 0.011586 & 0.018042 \\ 0.012148 & 0.017306 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 29 & 43 \\ -32 & -50 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1098 & 1340 \\ -2871 & 104 \end{bmatrix}$
6	-15	15	0.005988	0.00666	$\begin{bmatrix} 0.005988 & 0.011586 \\ 0.00666 & 0.012148 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 16 & 29 \\ -18 & -32 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -277 & 2651 \\ 1253 & 3829 \end{bmatrix}$
7	-7	5	0.003905	0.003237	$\begin{bmatrix} 0.003905 & 0.005988 \\ 0.003237 & 0.00666 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 8 & 16 \\ -10 & -18 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 226 & 2199 \\ -1259 & -1570 \end{bmatrix}$

ผลการทดลองการควบคุมพารามิเตอร์รูปภาพของหุ่นยนต์จากบริษัท CRS Robotic Inc
เมื่อความยาวช่วงก้าวเดินมีค่าต่าง ๆ กัน

พารามิเตอร์ควบคุม: ตำแหน่งวัตถุในรูปภาพในแนวนอน (u) และแนวตั้ง (v)
เป้าหมาย u และ v เป็นศูนย์

ตารางที่ ข.2 ตารางข้อมูล

Step Number	ความยาวช่วงก้าวเดิน					
	0.001		0.002		0.003	
	u	v	u	v	u	v
1	-250	121	-250	121	-251	122
2	-242	122	-242	122	-242	122
3	-241	126	-241	126	-242	126
4	-231	121	-221	116	-211	111
5	-221	116	-201	106	-183	95
6	-217	115	-198	105	-151	78
7	-208	110	-179	94	-119	60
8	-198	105	-157	83	-86	42
9	-188	99	-136	71	-56	21
10	-178	94	-115	59	-17	2
11	-168	88	-114	59	39	-7
12	-157	83	-89	47	-16	2
13	-147	77	-67	35	-9	3
14	-136	71	-43	22	39	-13
15	-126	65	-9	13	-9	3
16	-115	59	3	-4	-8	3
17	-104	53			37	-15
18	-103	52			-8	3
19	-92	46			-4	4
20	-82	39				
21	-71	33				
22	-59	26				
23	-50	19				
24	-34	14				
25	-21	7				
26	-5	2				

ผลการทดลองการควบคุมพารามิเตอร์รูปภาพของหุ่นยนต์จากบริษัท CRS Robotic Inc
เมื่อตำแหน่งเริ่มต้นมีค่าต่าง ๆ กัน

พารามิเตอร์ควบคุม: ตำแหน่งวัตถุในรูปภาพในแนวนอน (u) และแนวตั้ง (v)

เป้าหมาย u และ v เป็นศูนย์

ความยาวช่วงก้าวเดิน: 0.001

ตารางที่ ข.3 ตารางข้อมูล

Step Number	ตำแหน่ง #1		ตำแหน่ง #2		ตำแหน่ง #3		ตำแหน่ง #4		ตำแหน่ง #5	
	u	v	u	v	u	v	u	v	u	v
1	-250	121	-255	-157	119	-144	188	28	244	198
2	-242	122	-248	-156	127	-146	195	27	252	197
3	-241	126	-247	-151	126	-141	195	31	251	200
4	-231	121	-235	-145	119	-132	85	17	79	84
5	-221	116	-224	-138	110	-123	42	6	33	36
6	-217	115	-213	-130	102	-114	20	1	15	17
7	-208	110	-203	-123	95	-105	4	5	13	9
8	-198	105	-193	-116	87	-97			3	2
9	-188	99	-190	-117	79	-88				
10	-178	94	-179	-110	72	-79				
11	-168	88	-168	-103	75	-81				
12	-157	83	-167	-104	66	-73				
13	-147	77	-156	-97	60	-64				
14	-136	71	-146	-90	51	-56				
15	-126	65	-135	-84	44	-47				
16	-115	59	-125	-77	37	-39				
17	-104	53	-114	-71	31	-30				
18	-103	52	-103	-65	23	-23				
19	-92	46	-100	-64	15	-15				
20	-82	39	-91	-57	7	-7				
21	-71	33	-81	-51	10	-6				
22	-59	26	-70	-45	0	1				
23	-50	19	-60	-39						
24	-34	14	-49	-33						
25	-21	7	-39	-28						
26	-5	2	-27	-23						
27			-22	-16						
28			-13	-9						
29			-7	-6						
30			-4	-3						

ผลการทดลองการควบคุมพารามิเตอร์รูปภาพของหุ่นยนต์จากบริษัท CRS Robotic Inc

พารามิเตอร์ควบคุม: ตำแหน่งวัตถุในรูปภาพในแนวนอน (u) และแนวตั้ง (v) และขนาดของวัตถุที่ปรากฏในรูปภาพ (A)

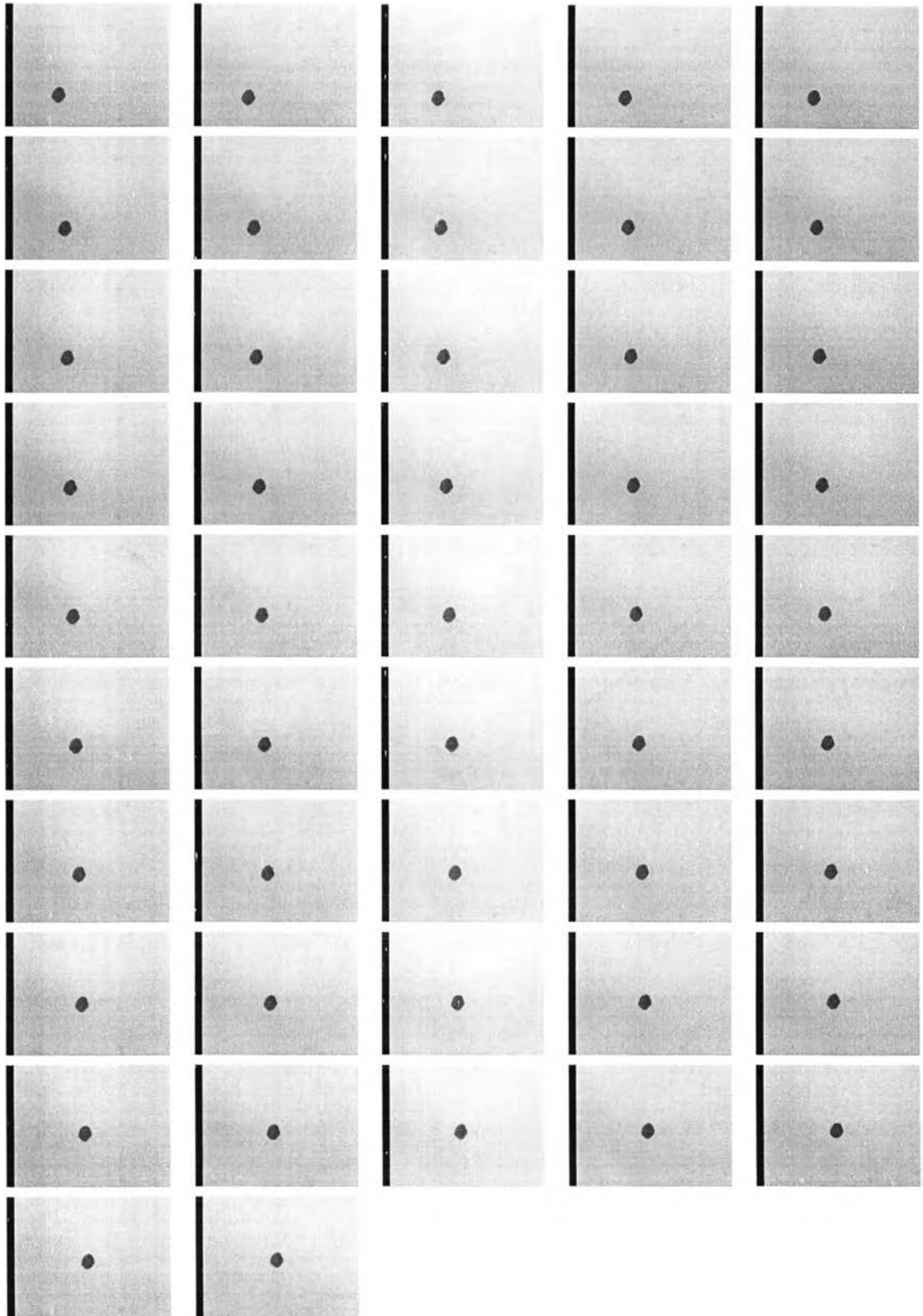
เป้าหมาย u และ v เป็นศูนย์ และ A เท่ากับ 4000

ความยาวช่วงก้าวเดิน: 0.005

ตารางที่ ข.4 ตารางข้อมูล

Step Number	u (pixel)	v (pixel)	A (pixel ²)
1	-164	166	4059
2	-160	165	4030
3	-155	160	4064
4	-150	156	4029
5	-150	156	3982
6	-148	154	4020
7	-147	152	4066
8	-145	150	4107
9	-135	138	4128
10	-129	131	4111
11	-130	132	4221
12	-129	131	4088
13	-128	131	4055
14	-128	130	4021
15	-122	123	4056
16	-120	121	4112
17	-117	117	4165
18	-108	106	4141
19	-103	101	4128
20	-101	99	4076
21	-92	87	4101
22	-82	76	4112
23	-76	69	4146
24	-72	64	4099
25	-72	64	4075
26	-71	64	4119
27	-70	62	4158
28	-70	61	4195
29	-60	49	4201
30	-54	43	4236
31	-45	32	4300
32	-44	32	4259
33	-41	27	4305
34	-38	24	4283
35	-38	24	4223
36	-36	22	4172
37	-35	20	4141
38	-25	8	4211
39	-20	1	4195

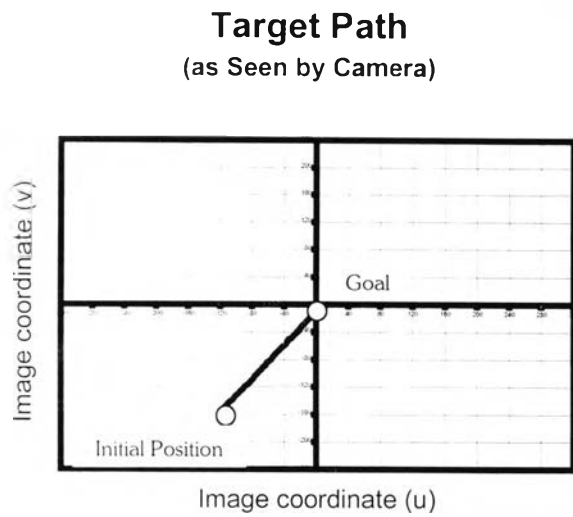
ผลการทดลองการควบคุมพารามิเตอร์รูปภาพของหุ่นยนต์จากบริษัท CRS Robotic Inc



รูปที่ ข.1 ภาพที่บันทึกจากการทดลองควบคุมแขนกลด้วยรูปภาพ เรียงตามลำดับที่บันทึก

ตารางที่ ข.5 ตารางข้อมูล

Step Number	u	v
1	-113	-148
2	-110	-144
3	-107	-141
4	-104	-139
5	-102	-135
6	-99	-132
7	-97	-130
8	-94	-126
9	-91	-123
10	-89	-120
11	-86	-117
12	-83	-114
13	-81	-111
14	-78	-108
15	-76	-104
16	-73	-101
17	-71	-98
18	-68	-95
19	-66	-91
20	-63	-89
21	-61	-85
22	-59	-83
23	-56	-80
24	-54	-76
25	-51	-73
26	-49	-70
27	-46	-67
28	-44	-64
29	-41	-61
30	-38	-58
31	-36	-55
32	-34	-51
33	-31	-49
34	-28	-45
35	-26	-43
36	-23	-40
37	-21	-37
38	-19	-34
39	-17	-31
40	-14	-28
41	-12	-25
42	-9	-22
43	-7	-19
44	-4	-16

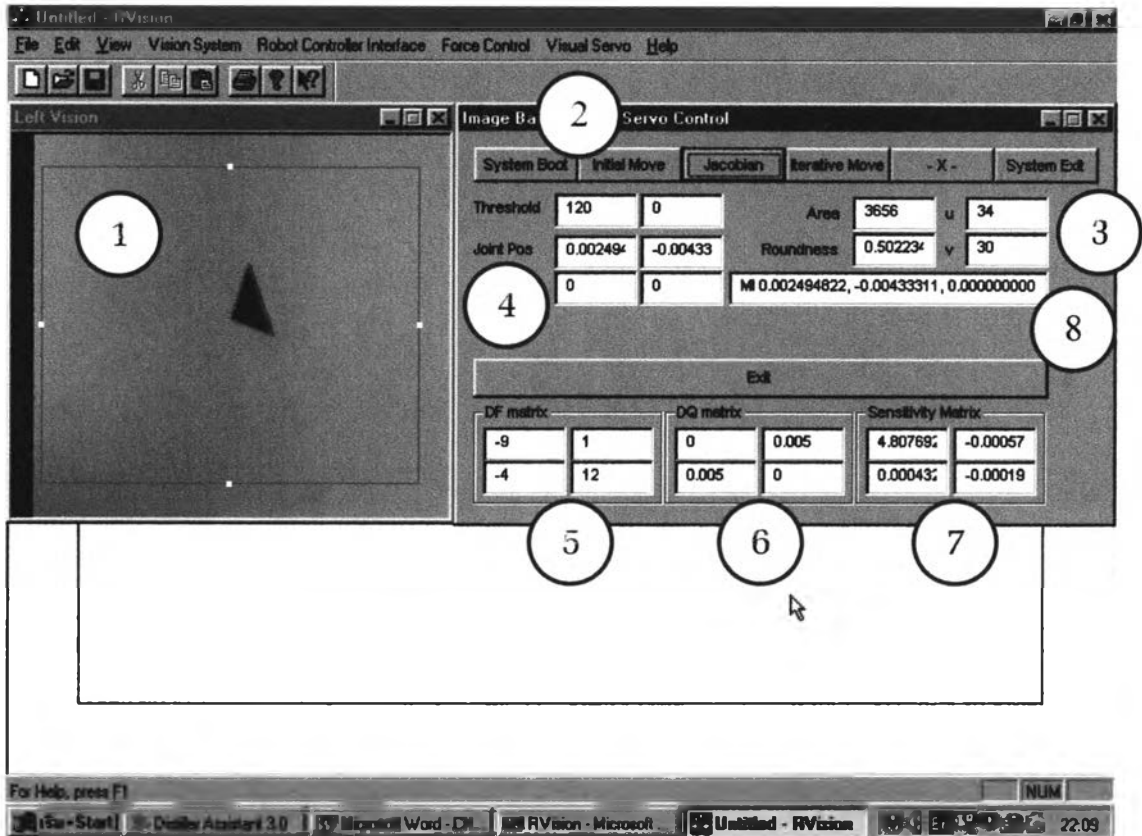


รูปที่ ข.2 ทางเดินของปลายแขน

ภาคผนวก ค.

ตัวอย่างโปรแกรมควบคุมการทำงาน

ตัวอย่างโปรแกรมควบคุมการทำงานที่เขียนขึ้นจาก Visual C++ โดยมีส่วนประกอบและรายละเอียดดังนี้



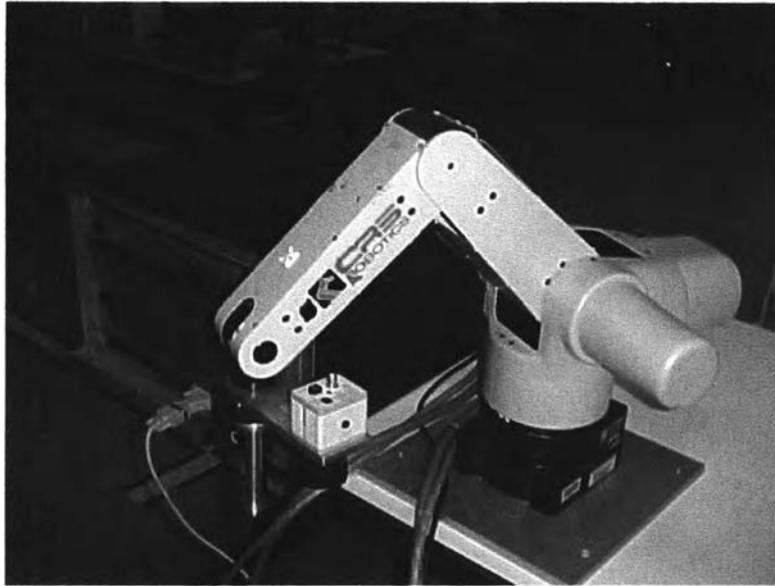
รูปที่ ค.1 ตัวอย่างโปรแกรมควบคุม

- ส่วนที่ ① แสดงภาพที่กล้องดิจิทัลบันทึกได้ กรอบสี่เหลี่ยมแสดงบริเวณที่ประมวลรูปภาพ
- ส่วนที่ ② แสดงปุ่มสั่งการควบคุมโปรแกรม
- ส่วนที่ ③ แสดงพารามิเตอร์รูปภาพที่ประมวลได้จากภาพที่บันทึก
- ส่วนที่ ④ แสดงขนาดการปรับตำแหน่งแขนกล
- ส่วนที่ ⑤ เมตริกซ์ DQ ที่สร้างขึ้นจากการพิจารณาการสั่งการเคลื่อนที่
- ส่วนที่ ⑥ เมตริกซ์ DF ที่สร้างขึ้นจากการพิจารณาการเปลี่ยนพารามิเตอร์รูปภาพ
- ส่วนที่ ⑦ จาโคเบียนที่ประมาณขึ้นจาก DQ และ DF
- ส่วนที่ ⑧ คำสั่งที่ส่งไปให้กับตัวควบคุมหุ่นยนต์เพื่อสั่งการเคลื่อนที่

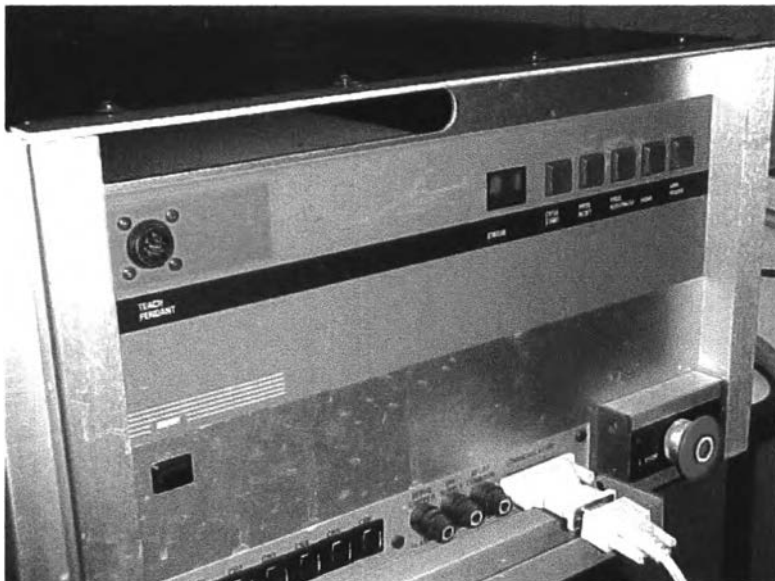
ภาคผนวก ง.

ประมวลภาพเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

- แขนกลแบบ Articulated ของบริษัท CRS Robotic Inc รุ่น A255 พร้อมชุดควบคุม สำหรับเป็นตัวอย่างแขนกลอุตสาหกรรม เพื่อทดสอบวิธีการควบคุมด้วยกล้องดิจิทัล วิธีการควบคุมแรง และวิธีการควบคุมแบบผสมระหว่างแรงและรูปภาพ แขนกลมีความอิสระเท่ากับ 5 สามารถสั่งการควบคุมแบบตำแหน่งผ่านทาง RS232

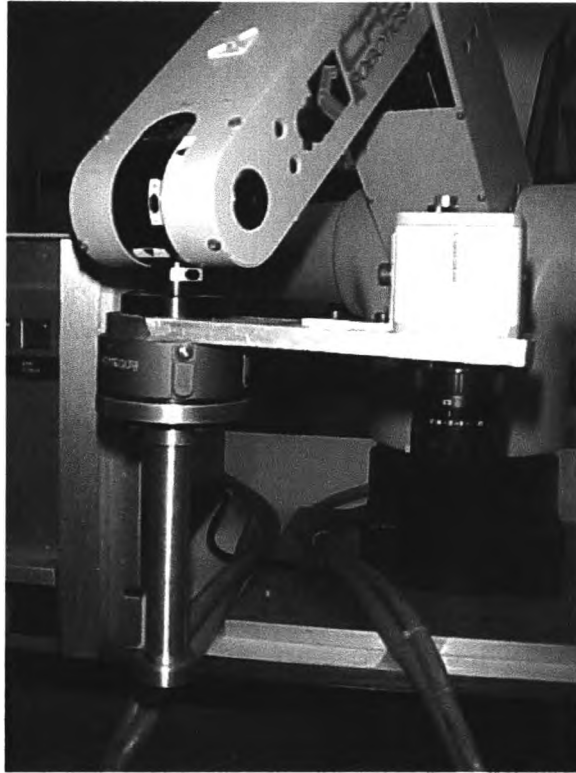


รูปที่ ง.1 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม



รูปที่ ง.2 ตัวควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

- การติดอุปกรณ์วัดแรงและกล่องดิจิทัลไว้ที่ปลายแขน อุปกรณ์วัดแรงเป็นแบบผลึก Piezoelectric สามารถวัดแรงได้สูงสุด 50 นิวตัน ส่วนกล่องดิจิทัลเป็นกล่องที่วิงจอร์ปิด ขาว-ดำ ทั่วไป ไม่สามารถปรับไฟกัสนและหน้ากล่องอัตโนมัติ



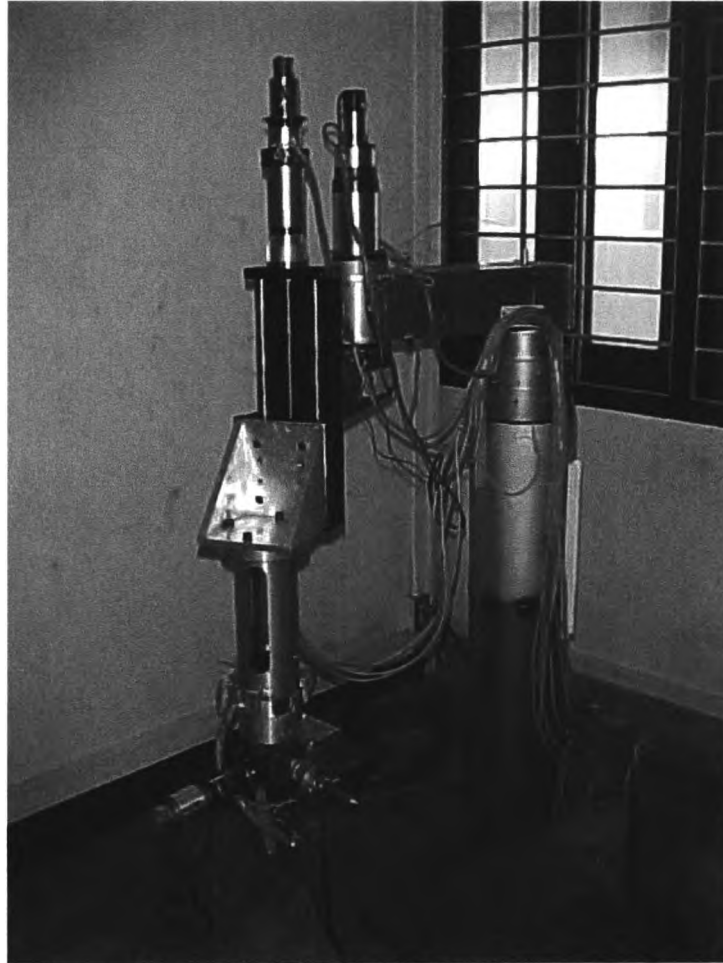
รูปที่ ง.3 การติดอุปกรณ์วัดแรงและกล่องดิจิทัล

- ตัวควบคุมที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดลองควบคุมแรง สามารถควบคุมหุ่นยนต์ได้ 3 ข้อต่อ พร้อมกัน มีจอแสดงผลแสดงตำแหน่งของข้อต่อ



รูปที่ ง.4 ตัวควบคุมที่สร้างขึ้น

- หุ่นยนต์จุฬาย 2 เป็นหุ่นยนต์ SCARA แบบ 6 แกน ที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการควบคุม เป้าหมายต่อไปที่จะทดลองควบคุมด้วยกล้องดิจิทัล และการควบคุมแบบผสมระหว่างแรง กับรูปภาพ



รูปที่ ง.5 หุ่นยนต์จุฬาย 2



ประวัติผู้วิจัย

นาย รัชทิน จันท์เจริญ เกิดวันที่ 8 พฤษภาคม 2513 ที่จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2534 และสำเร็จการศึกษา M.S.M.E จากมหาวิทยาลัยแห่งรัฐโอเรกอน ประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี 2537 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี 2538