

การพัฒนาโปรแกรมสำหรับออกแบบโครงสร้างผ้าคลุมรถยนต์อัตโนมัติ

The Development of Program for Designing the Structure of

Automatic Car Cloth Cover

สุวิมล เสนีวงศ์ ณ อยุธยา¹ อโนทัย สุขแสงพนมรุ่ง² ทวีวัชร วีระเกล้า³

โครงการความร่วมมือ หลักสูตรปริญญาโท มศว. และ รร.จปร.

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

อ.องครักษ์ จ. นครนายก 26001

โทร 0-37393487 โทรสาร 0-37393487 E-mail: tawiwat@hotmail.com³

Suwimon Saneewong Na Ayuttaya¹ Anotai Suksangpanomrung² Tawiwat Veeraklaew³

Jointed Post Graduated Program (SWU-CRMA)

Department of Mechanical Engineering

Chulachomklao Royal Military Academy Nakhon-Nayok, 26001

Tel: 0-37393487 Fax: 0-37393487 E-mail: tawiwat@hotmail.com³

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้มุ่งการออกแบบโครงสร้างผ้าคลุมรถยนต์อัตโนมัติซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถยืดอายุการใช้งานของรถยนต์ได้ จึงเลือกศึกษาจากทฤษฎีทางระบบหุ่นยนต์ (Robotics system theory) โดยอาศัยกลไกการทำงานของแขนกลสองตำแหน่ง ซึ่งเคลื่อนที่ทั้งแบบหมุน (Revolute) และแบบเชิงเส้น (Prismatic) เพื่อให้ได้สมการการเคลื่อนที่ (Equation of motions) ของผ้าคลุมรถยนต์อัตโนมัติที่ได้จากสมการออยเลอร์-ลากรางจ์ (Euler-Lagrange equations) เพื่อนำค่าโมเมนต์ของแรงบิด (Actuator torques) และแรงภายนอก (External forces) มาวิเคราะห์การทำงาน และนำโปรแกรม MATLAB มาพัฒนาปัญหาการควบคุมที่ได้ผลสูงสุดของระบบพลศาสตร์ (Dynamic optimal control problem) โดยทำการแปลงปัญหามานี้ทางแคลคูลัสของความแปรปรวน (Calculus of variation) ซึ่งเป็นวิธีทางอ้อม (Indirect method) และหาคำตอบโดยใช้โปรแกรมที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear programming) แต่เนื่องจากปัญหามีพารามิเตอร์ที่ขึ้นกับเวลา งานวิจัยนี้จึงได้นำวิธีการโคโลเคชัน (Collocation method) มาใช้เพื่อทำให้ปัญหาถูกแปลงเป็นปัญหาการควบคุมที่ได้ผลสูงสุดของระบบสถิตยศาสตร์ (Static optimal control problem) ให้ได้มาซึ่งโมเมนต์ของแรงบิดและโมเมนต์ของแรงภายนอกที่มอเตอร์สามารถทำงานได้ โดยโปรแกรมมีความแม่นยำและความรวดเร็วในการหาคำตอบ ซึ่งสามารถจำลองโครงสร้างการทำงานเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบของจริงต่อไป

Abstract

Nowadays a car becomes more and more necessary part in human lifestyles. For this reason, researcher has a new idea, in order to design exterior equipment especially for protecting cars. Therefore, we address the first problem how to make this automatic car cloth cover fit for a specific car and easy to use. The two-link mechanisms are considered which revolute and prismatic joints are. Using robotic theories and Euler-Lagrange equations are used for the dynamic equations of motion. In addition, joining with optimization theories program from MATLAB, by applying calculus of variations to the cost functional, the necessary conditions are obtained. After we analyzed the optimization for dynamic system problem. So we get actuator torques and external forces of the moment in order to get extremum energy of the motors. The suitable programs are developed for simulation and designing the motion so as to be matched with the considered car.

Keywords

Automatic car cloth cover, Robotics system theory,

R-P Robot, Dynamic optimization, Calculus of variation

1. บทนำ

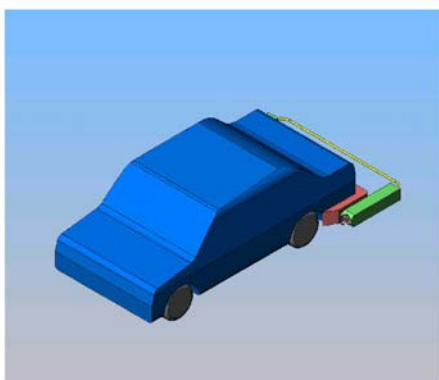
ผ้าคลุมรถยนต์จัดเป็นอุปกรณ์ระดับยนต์ที่ช่วยยืดอายุการใช้งานของรถได้ แต่ไม่ค่อยมีนักประดิษฐ์สนใจลองคิดค้นมากนัก อาจเนื่องจากตามแบบเดิมการใช้งานยังไม่สะดวกกับผู้ใช้เท่าที่ควร ผ้าคลุมรถยนต์อัตโนมัติจึงเป็นแนวคิดในการวิจัยให้เกิดสิ่งประดิษฐ์ขึ้นใหม่ซึ่งเน้นการออกแบบที่คำนึงถึงความสะดวกสบายในการใช้งานมากที่สุด

โดยในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาทางทฤษฎีในส่วนของการทำงานของโครงสร้างผ้าคลุมรถยนต์อัตโนมัติซึ่งอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป MATLAB มาช่วยวิเคราะห์ปัญหา โดยการออกแบบโครงสร้างใช้จากทฤษฎีของระบบหุ่นยนต์เพื่อคำนวณหาสมการการเคลื่อนที่จากสมการออยเลอร์-ลากรางจ์ แล้วแปลงปัญหาทางการควบคุมที่ได้ผลสูงสุดของระบบพลศาสตร์เป็นสถิติศาสตร์ ต่อมาจึงหาค่าความเหมาะสมที่สุดสำหรับระบบควบคุม (Optimal control) แต่เนื่องจากการแก้ปัญหาวิธีนี้คำตอบทางพลศาสตร์จะได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ และความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น [1] โดยมีวิธีการแก้ปัญหาอยู่สองวิธีคือ วิธีตรง (Direct method) และวิธีอ้อม (Indirect method) [2] ซึ่งวิธีอ้อมแก้ปัญหายากและซับซ้อน แต่ให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องแม่นยำมากกว่า ผู้วิจัยจึงเลือกที่จะแก้ปัญหามาแบบวิธีอ้อม โดยให้การแก้ปัญหาทางแคลคูลัสความแปรปรวน และเพิ่มการพัฒนาโปรแกรมให้ติดต่อผู้ใช้ได้โดยผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic user interface ;GUI) พร้อมทั้งแสดงผลการวิเคราะห์ออกมาในรูปแบบกราฟเพื่อความเข้าใจง่าย

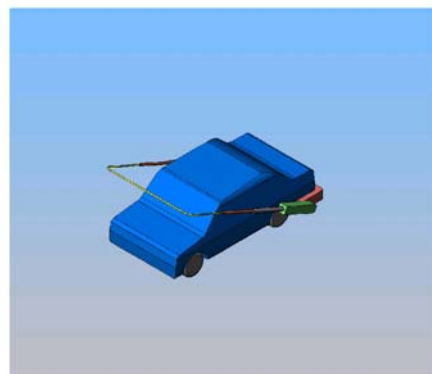
2. สมการการเคลื่อนที่ (Equation of motions)

2.1 ฟอว์เวิร์ดคิเนเมติกส์ (Forward kinematics)

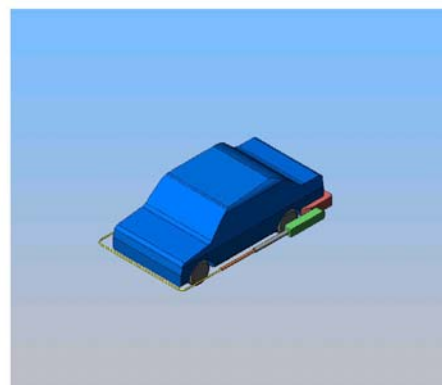
จาก Craig.[3] กล่าวถึงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ว่าต้องคำนึงถึงข้อต่อ (Joints) ของหุ่นยนต์ ดังนั้นในการศึกษาถึงโครงสร้างของผ้าคลุมรถยนต์อัตโนมัติต้นแบบนี้ให้มีระดับขั้นความเสรี (Degree of freedoms) สองค่า หรืออาจเรียกได้ว่าสองลิงค์ โดยลิงค์แรกเป็นการทำงานโดยควบคุมลักษณะการหมุน ให้มีองศาการหมุนระหว่าง 0 ถึง 180 องศาและลิงค์ที่สองเป็นการทำงานแบบเลื่อนตำแหน่งขนานกับแกน (Translation) ความยาวของลิงค์ที่ยึดออกจะมีความยาวสุดท้ายเท่ากับ ความยาวของรถยนต์คันที่เราต้องการศึกษา ตามรูป 1, 2, 3



รูปที่ 1 แสดงจุดเริ่มต้นศึกษาการทำงานของโครงสร้างผ้าคลุมรถยนต์อัตโนมัติโดยให้ลิงค์แรกอยู่ด้านข้างกันชนรถด้านท้าย และลิงค์ที่สองถูกเก็บภายในลิงค์แรก

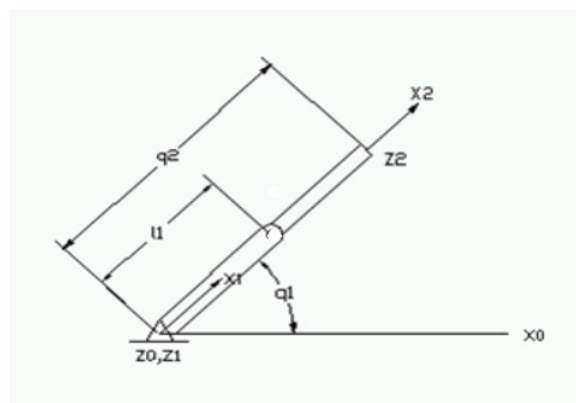


รูปที่ 2 แสดงการเคลื่อนที่ของโครงสร้างผ้าคลุมรถยนต์อัตโนมัติโดยเริ่มลิงค์แรกเคลื่อนที่แบบหมุน และลิงค์ที่สองเคลื่อนที่แบบเลื่อนตำแหน่งขนานกับแกน



รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งสุดท้ายในการเคลื่อนที่ของโครงสร้างผ้าคลุมรถยนต์อัตโนมัติที่เป็นปัญหาในการพิจารณา

การพิจารณาดำแหน่ง (Position) และการเปลี่ยนมุม (Orientation) ของเฟรมทำให้สามารถหาพิกัด (Coordinate) ได้จากการพิจารณาค่า D-H parameters ของแต่ละลิงค์ ซึ่งประกอบไปด้วย a_{i-1}, d_i, θ_i , และ α_{i-1} โดยที่แต่ละค่าเป็นตัวแทนของความเป็นลิงค์ i ซึ่ง a_i คือ Link length α_i คือ Link twist d_i คือ Link offset และ θ_i คือ Link angle ได้ภาพแสดงการทำงานของแต่ละลิงค์ตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงค่า D-H parameters และการทำงานด้านข้างของผ้าคลุมรถยนต์อัตโนมัติ [4]

2.2 จาโคเบียนเมตริกซ์ (Jacobian matrix; ${}^0J(q)$)

มีความสำคัญในส่วนการวิเคราะห์ และควบคุมของการเคลื่อนที่ของความเร็วของหุ่นยนต์ โดยหาจากทรานฟอร์มเมชันเมตริกซ์ (Transformation matrix; ${}^0T(q)$) เสียก่อน ถ้าหุ่นยนต์มีจำนวน n ลิงค์จะได้เป็น

$${}^0T(q) = \begin{bmatrix} {}^0R(q) & {}^0P(q)_{norg} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}_{4 \times 4} \quad (1)$$

เมื่อลิงค์แรกควบคุมลักษณะการหมุน พิจารณาการหมุนรอบแกน z พิจารณาค่าจาโคเบียนเมตริกซ์ จะได้ว่า

$$J_n = \begin{bmatrix} \ddot{z}_i ({}^0P_{(n+1)org} - {}^0P_{iorg}) \\ \dots\dots\dots \\ \ddot{z}_i \end{bmatrix}_{6 \times n} \quad (2)$$

ต่อมาเมื่อพิจารณาลิงค์ที่สองซึ่งเป็นการควบคุมลักษณะการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้นโดยการยืดออก พิจารณาการยืดออกตามแนวแกน x พิจารณาค่าจาโคเบียนเมตริกซ์ จะได้ว่า

$$J_n = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \dots\dots\dots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}_{6 \times 1} \quad (3)$$

2.3 โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of inertia; I)

จาก Kane.[5] อธิบายว่าเป็นตัวต้านทานการเคลื่อนที่ในแนวหมุน โดยต้องกำหนดว่าจะพิจารณาจุดใด สมมติว่าพิจารณาโมเมนต์ความเฉื่อยรอบจุด a ($\vec{I}_a$) และทำการอินทิเกรตพื้นผิว (Surface integral) จะได้

$$\vec{I}_a = \int_F \rho \vec{P} \times (\vec{n}_a \times \vec{P}) d\tau \quad (4)$$

2.4 สมการการเคลื่อนที่ทางพลศาสตร์ (Dynamic equation of motion)

เป็นการแสดงคุณสมบัติที่สำคัญของระบบเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ ในการศึกษาใช้การอธิบายโดยใช้สมการออยเลอร์-ลากรางจ์

2.4.1 พลังงานจลน์ของระบบกลศาสตร์ (Kinetic energy; $K(q)$) เขียนในรูปของ Spong. [4] จะได้ว่า

$$K(q) = \frac{1}{2} \dot{q}^T \sum_{i=1}^n [m_i J_{v_i}(q)^T J_{v_i}(q) + J_{\omega_i}(q)^T R_i(q) I_i R_i(q)^T J_{\omega_i}(q)] \dot{q} \quad (5)$$

โดยที่ q คือ เจเนอรัลไลซ์โคออดิเนต (Generalized coordinate)

$$D(q) = \sum_{i=1}^n (m_i J_{v_i}^T J_{v_i} + J_{\omega_i}^T R_i I_i R_i^T J_{\omega_i}) \quad (6)$$

และ

$$c_{ijk} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\partial d_{kj}}{\partial q_i} + \frac{\partial d_{ki}}{\partial q_j} - \frac{\partial d_{ij}}{\partial q_k} \right\} \quad (7)$$

ส่วน $D(q)$ คือ พอสซิทีฟเดฟิไนทีฟเมตริกซ์ (Positive definite matrix) และ C_{ijk} คือ คริสทอฟเฟิลซิมโบล (Christoffel symbols)

2.4.2 พลังงานศักย์ของระบบกลศาสตร์ (Potential energy; $V(q)$) จาก Craig. [3] แสดงสมการในเทอมของพลังงานศักย์ได้ว่า

$$\phi_k = \frac{\partial V}{\partial q_k} \quad (8)$$

2.4.3 สมการออยเลอร์-ลากรางจ์ ซึ่ง Spong.[4] อธิบายว่าเป็นสมการที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของเวลาของระบบกลศาสตร์ กำหนดให้

$$\tau_k = \sum_j d_{kj}(q) \ddot{q}_j + \sum_{i,j} c_{ijk} \dot{q}_i \dot{q}_j + \phi_k(q) \quad ; \quad k=1, \dots, n \quad (9)$$

โดยที่ τ คือ แรงบิดและแรงภายนอกใช้เป็นสมการการเคลื่อนที่ของระบบและ n คือ จำนวนระดับขั้นความเสรี

3. ปัญหาทางทฤษฎีทางการควบคุมที่ได้ผลสูงสุดของระบบพลศาสตร์ (Optimization for dynamic system problem)

ระบบพลศาสตร์ที่ใช้ทางวิศวกรรมส่วนมากจะแสดงในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ เช่น ในการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงที่มีแรงภายนอกกระทำมีสมการการเคลื่อนที่เป็น $\dot{x} = u$ โดยที่ x แทนตำแหน่งในการเคลื่อนที่ของอนุภาค และ u แทนแรงภายนอกที่กระทำ ซึ่งสามารถกำหนดเป็นเงื่อนไขของค่าต่ำสุดและสูงสุดของปัญหาได้ โดยสมการเชิงอนุพันธ์อันดับสอง (Second derivative equation) สามารถเขียนใหม่ได้ว่า

$$\dot{x}_1 = x_2 \quad \text{และ} \quad \dot{x}_2 = u \quad (10)$$

โดยที่ x_2 คือ ความเร็วของอนุภาค และทั้งค่า x_1 และ x_2 สามารถคำนวณหาได้ ถ้าทราบแรงภายนอกที่กระทำ ดังนั้นสมการการหาค่าเหมาะสมที่สุดของระบบควบคุมทางพลศาสตร์ สามารถสร้างได้ในรูป

$$\dot{x}_i = f(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_m, t) \quad ; \quad i=1, \dots, n \quad (11)$$

ให้ t คือ เวลา x_i คือ สเตทวารีเอเบิล (State variables) ของระบบหรือเอาต์พุต (Output variables) ของระบบ โดยที่ u คือ คอนโทรลวารีเอเบิล (Control variable) หรืออินพุตที่ใส่ให้ระบบ f_i

คือ ฟังก์ชันที่ขึ้นกับตัวแปร x , u และ t โดย n คือ จำนวนสแตทวาริเอเบิล และ m คือ จำนวนของคอนโทรลลารีเอเบิล

โดยที่สมการเชิงอนุพันธ์สามารถแบ่งปัญหาเงื่อนไขบังคับ (Constraints) ได้สองประเภท คือ ปัญหาแบบเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial condition) และปัญหาเงื่อนไขขอบเขต โดยเงื่อนไขบังคับเป็นข้อจำกัดทางกายภาพของระบบ ซึ่งเป็นตัวบังคับให้ระบบเข้าสู่หาคำตอบที่ถูกต้อง โดยทั่วไปแล้วค่าเริ่มต้น (Initial guesses) หรือเงื่อนไขเริ่มต้นของระบบมักจะกำหนดเองจากสภาวะหยุดนิ่งให้เป็น $x(t_0) = 0$ แต่เงื่อนไขขอบเขตต้องกำหนดตามสแตทวาริเอเบิล คอนโทรลลารีเอเบิล และเงื่อนไขบังคับทางกายภาพ (Path constraints) แสดงเงื่อนไขขอบเขตของสแตทวาริเอเบิล และเงื่อนไขขอบเขตของคอนโทรลลารีเอเบิลเป็น

$$x_L \leq x(t) \leq x_u \quad (1)$$

$$u_L \leq u(t) \leq u_u \quad (13)$$

โดยที่ x_L และ x_u คือ ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของสแตทวาริเอเบิล และ u_L และ u_u คือ ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของตัวแปรควบคุม ต่อมาสามารถกำหนดเงื่อนไขบังคับทางกายภาพของระบบได้เป็น

$$c_L \leq c(x(t), u(t), t) \leq c_u \quad (14)$$

$$\dot{x}_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_m, t) \quad ; i = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_m, t) = 0 \quad ; i = 1, 2, \dots, r \quad (16)$$

$$c_i(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_m, t) \leq 0 \quad ; i = 1, 2, \dots, p \quad (17)$$

$$s_i^2(x_1, x_2, \dots, x_n) + c_i = 0 \quad ; i = 1, 2, \dots, q \quad (18)$$

โดยที่สมการ 16 เป็นเงื่อนไขบังคับที่เป็นสมการเชิงอนุพันธ์ สมการ 17 เป็นเงื่อนไขบังคับที่เป็นสมการ (Equality constraints) และสมการ 18 เงื่อนไขบังคับที่เป็นอสมการ (Inequality constraints) และสมการ 19 เป็นเงื่อนไขบังคับที่เป็นตัวแปรสมมติ (Slack variable) แล้วเรียกโดยรวมของเงื่อนไขบังคับทั้งหมดว่าสมการทางพีชคณิต (Algebraic equation)

ให้ฟังก์ชันนอล (Functional; $J[x]$) เป็นฟังก์ชันพื้นฐาน ซึ่งสมการที่สามารถครอบคลุมปัญหาทั้งหมดคือ

$$J = \Phi(t, x_L, \dots, x_u)_{t_f} + \int_{L_0}^{L_1} L(t, x_i, \dots, x_u, u_1, \dots, u_m) dt \quad (19)$$

โดยทั่วไปเรียกสมการเช่นนี้ว่าคอสฟังก์ชันนอล (Cost functional) แต่ถ้าที่ค่าพลังงานของระบบที่น้อยที่สุด (Minimum energy) จะเหลือรูปสมการเพียง

$$J' = \int_{t_0}^{t_f} \left(L' + \sum_{i=1}^n \lambda_i (\dot{x}_i - f_i) \right) dt \quad (20)$$

การเลือกใช้เงื่อนไขใดนั้นขึ้นอยู่กับปัญหาที่ต้องการพิจารณา ในการศึกษาที่ใช้กรณีที่มีเวลาและตำแหน่งที่แน่นอน (Fixed end time

and end points) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่กำหนดเวลาเริ่มต้น (t_0) เวลาสุดท้าย (t_f) รวมทั้งค่าของฟังก์ชัน $x(t_0), x(t_f)$ ไว้แล้ว แสดงเป็นฟังก์ชันนอลได้ว่า

$$J[x_1, x_2, \dots, x_n] = \int_{t_0}^{t_f} F(t, x_1, x_2, \dots, x_n, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dots, \dot{x}_n) dt \quad (21)$$

ถ้าให้ $x_i(t)$ ถูกเพิ่มค่าขึ้นโดย $h_i(t_0)$ แต่ยังคงอยู่ในเงื่อนไขขอบเขต ทำให้ $h_i(t_0) = h_i(t_f) = 0$ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงในฟังก์ชันนอล ΔJ เป็น

$$\Delta J = J[x_1 + h_1, x_2 + h_2, \dots, x_n + h_n] - J[x_1, x_2, \dots, x_n] \\ = \int_{t_0}^{t_f} \left[F(t, x_1 + h_1, x_2 + h_2, \dots, x_n + h_n, \dot{x}_1 + \dot{h}_1, \dots, \dot{x}_n + \dot{h}_n) - F(t, x_1, x_2, \dots, x_n, \dot{x}_1, \dots, \dot{x}_n) \right] dt \quad (22)$$

และเมื่อใช้อนุกรมเทย์เลอร์ (Taylor's series) กระจายสมการ และตัดเทอมที่มีดีกรีตั้งแต่สองขึ้นไป (Higher order terms) ทั้ง จะได้ว่า

$$\delta J = \int_{t_0}^{t_f} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} h_i + \frac{\partial F}{\partial \dot{x}_i} \dot{h}_i \right) dt \quad (23)$$

ซึ่ง δJ เป็นการประมาณค่าของ ΔJ เมื่อตัดเทอมที่มีดีกรีตั้งแต่สองขึ้นไป ส่วนเงื่อนไขของค่าต่ำสุดและสูงสุดของค่าเหมาะสมสูงสุดเป็นค่าที่ทำให้ $\delta J = 0$ คือการทำให้ $h(t_0) = h(t_f) = 0$ ดังนั้นจึงสมมติให้เป็นอนุพันธ์ต่อเนื่อง (Continuous derivatives) ทำให้ได้ค่าเป็น

$$\frac{\partial F}{\partial x_i} - \frac{d}{dt} \frac{\partial F}{\partial \dot{x}_i} = 0, \quad i = 1, \dots, n \quad (24)$$

4. การออกแบบโปรแกรม

ในส่วนของโปรแกรมได้ใช้ MATLAB ในการศึกษา โดยนำความสามารถของโปรแกรมมาใช้ 3 ส่วนด้วยกัน กล่าวคือ ซิมโบลิคทูลบ็อกซ์ (Symbolic toolbox) การแก้ปัญหาทางออปติไมเซชัน (Optimization solver) และหน้าจอรับข้อมูล ซึ่งทั้งหมดจะทำงานสัมพันธ์กันตลอดเวลา

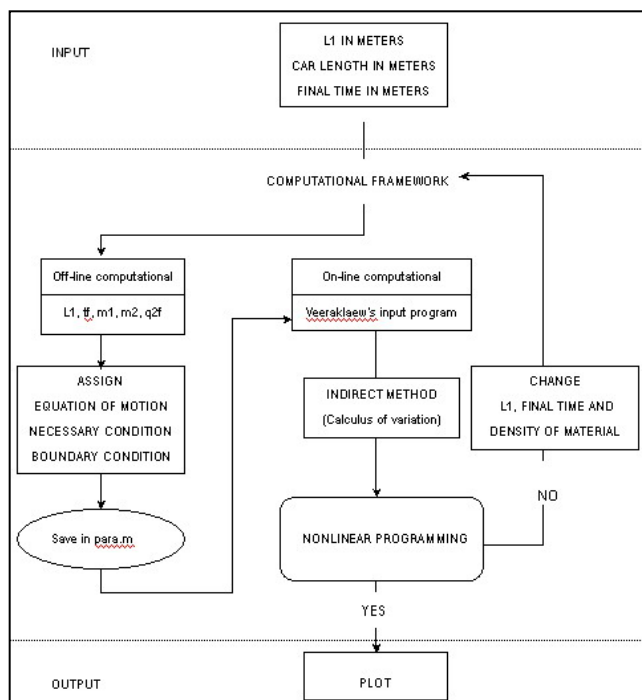
4.1 โครงสร้างของโปรแกรม

4.1.1 อินพุต (Input) สำหรับโปรแกรม

โปรแกรมจะรับค่าต่างๆที่ได้จากปัญหาที่สนใจ ได้แก่ ความยาวกันชนหลังของรถยนต์ ความยาวทั้งหมดของรถยนต์คันที่ต้องการศึกษา และเวลาทั้งหมดที่ต้องการให้ผ้าคลุมรถยนต์ทำงาน ซึ่งโปรแกรมจะรับจากการป้อนของผู้ใช้ผ่านหน้าจอรับข้อมูล

4.1.2 ขอบข่ายการทำงานของโปรแกรม

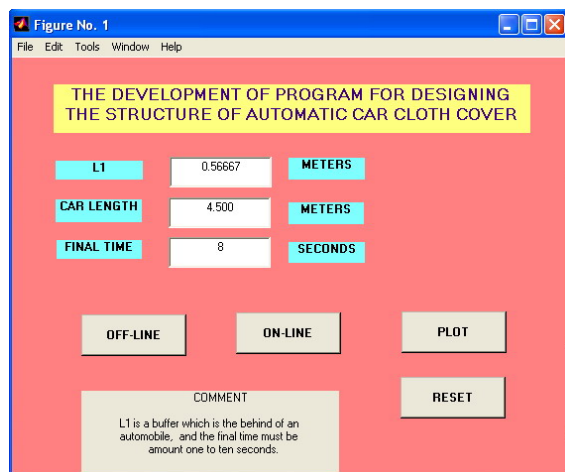
โครงสร้างของโปรแกรมแบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่ 1 เรียกว่าส่วนออฟไลน์ (Off-line) และส่วนที่ 2 เรียกว่าส่วนออนไลน์ (On-line) อธิบายโดยใช้โฟลว์ชาร์ท (Flow chart) ตามรูปที่ 5 ดังนี้



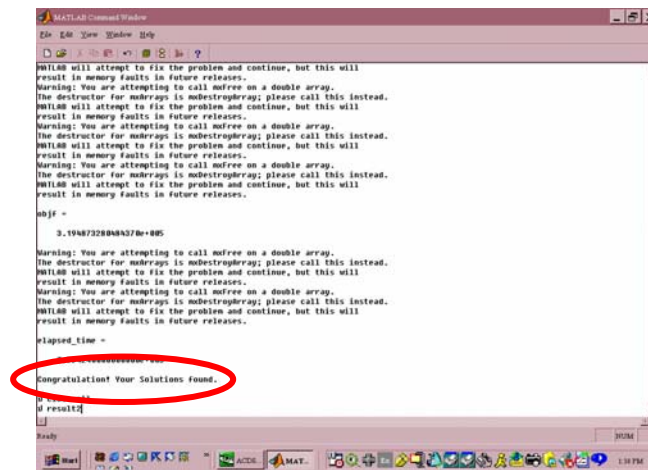
รูปที่ 5 แสดงโฟลชาร์ท (Flowchart) ของโปรแกรมสำหรับออกแบบโครงสร้างผ้าคลุมรถยนต์อัตโนมัติ

5. ประเภทของปัญหาที่นำมาทดสอบกับโปรแกรม

จากข้อมูลของรถยนต์ Isuzu MU-7 กำหนดขนาดของกันชนรถยนต์ให้มีความยาว 0.73 เมตร ขนาดความยาวของรถยนต์ 4.95 เมตร [7] และกำหนดให้เวลาทำงาน 8 วินาที แสดงหน้าจอร์ับข้อมูลตามรูปที่ 6 และเมื่อทำการรันโปรแกรมเป็นที่เรียบร้อยแล้วแสดงการสิ้นสุดการทำงานของโปรแกรม ตามรูปที่ 7 ดังนี้

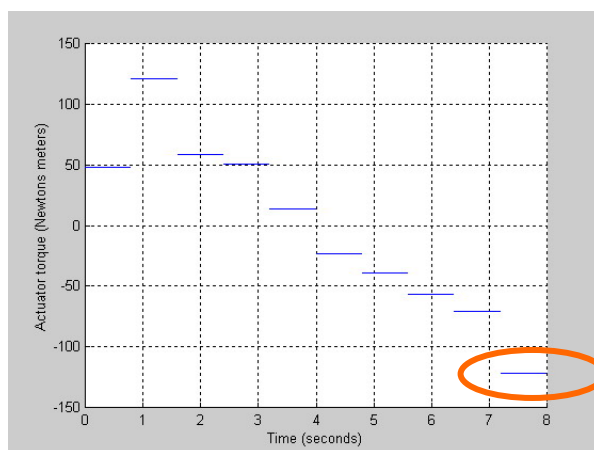


รูปที่ 6 แสดงการกำหนดข้อมูลจากปัญหา

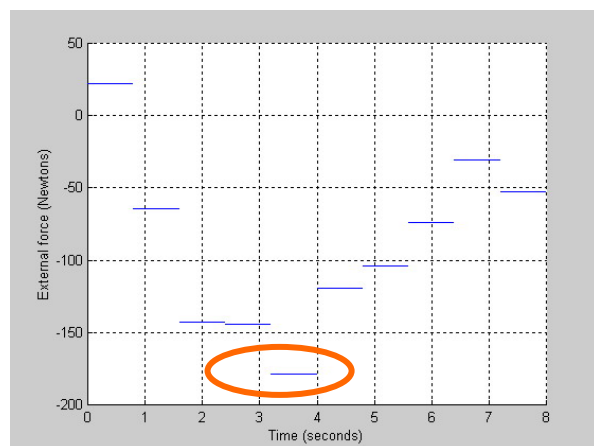


รูปที่ 7 แสดงการสิ้นสุดการทำงานของโปรแกรม

ซึ่งหน้าจอกอมมานต์ปรากฏคำว่า "Congratulations! Your Solutions found" แสดงว่าผลที่ได้เป็นคำตอบที่ถูกต้องและเป็นค่าเหมาะสมสูงสุด (Extremum) แสดงผลลัพธ์ที่ต้องการตามรูปที่ 8 และ 9 ดังนี้



รูปที่ 8 แสดงค่าแรงบิดของมอเตอร์เปรียบเทียบกับเวลา



รูปที่ 9 แสดงค่าแรงภายนอกของมอเตอร์เปรียบเทียบกับเวลา

จากรูปที่ 8 ทำให้ทราบว่ามีมอเตอร์ที่มารับค่าแรงบิดต้องเลือกให้มีขนาดประมาณ 120 นิวตันเมตร และจากรูปที่ 9 ทำให้ทราบว่ามีมอเตอร์ที่มารับค่าแรงภายนอกต้องเลือกให้มีขนาดประมาณ 180 นิวตัน จึงจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมีค่าเหมาะสมสูงสุด

จากการทดสอบโปรแกรมโดยเปลี่ยนการทดสอบเป็นหลายปัญหา ทำให้ทราบว่าเมื่อทำการรันโปรแกรมเป็นที่เรียบร้อยแล้ว หน้าจอคอมพิวเตอร์ปรากฏเป็นสามลักษณะ คือ "Congratulation! Your Solutions found" "Local minimum Exist!" หรือ "No solution!" โดยจะแสดงผลเป็นลักษณะใดนั้นขึ้นกับปัญหาที่นำมาทดสอบ

6. สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ

การหาสมการการเคลื่อนที่โดยใช้สมการออยเลอร์-ลากรางจ์ ซึ่งคำนึงถึงโมเมนต์ความเฉื่อยพลังงานจลน์ และพลังงานศักย์ เมื่อวิเคราะห์ค่าแรงบิดและแรงภายนอก พบว่าให้ผลการทดสอบโปรแกรมที่ดี แสดงว่าสมการการเคลื่อนที่ที่ได้ สามารถนำไปใช้แทนการทำงานของโครงสร้างผ้าคลุมรถยนต์อัตโนมัติได้เป็นอย่างดี

ส่วนการแก้ปัญหาทางพลศาสตร์ที่มีลักษณะของปัญหาเป็นแบบ Two point boundary value problem (TPBVP) เป็นปัญหาทางสถิติศาสตร์ โดยการแบ่งข้อมูลเป็นช่วงๆ จากปัญหาแบบเวลาต่อเนื่องเป็นวิธีดิสครีตโดยโคโลเคชัน โดยสมการการเคลื่อนที่ที่ได้เป็นปัญหาโปรแกรมที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งไม่สามารถคาดเดาว่าจะได้คำตอบหรือไม่ อาจเนื่องมาจากความซับซ้อนของปัญหา หรือมีระเบียบวิธีเชิงตัวเลขซึ่งโปรแกรมไม่สามารถหาคำตอบได้ หากการรันแสดงผลออกมาว่าไม่ได้คำตอบก็ต้องเปลี่ยนปัญหาไปทดลองกับปัญหาอื่น โดยในการศึกษาได้ทำการแบ่งออกเป็น 10 ช่วง ซึ่งจะทำให้การแบ่งมากกว่านี้ก็ได้ หากต้องการความละเอียดของข้อมูลมากขึ้น แต่ก็ต้องใช้เวลารันโปรแกรมมากขึ้นด้วย ซึ่งจากการทดลองพบว่าถ้าแบ่งการศึกษาน้อยกว่า 10 ช่วง ข้อมูลจะขาดความละเอียด ยังไม่สามารถนำข้อมูลไปแทนค่าแรงบิดและแรงภายนอกได้

ในงานวิจัยนี้ใช้การพัฒนาโปรแกรมจากงานวิจัยของ Veeraklaew.[6] พัฒนารูปแบบโปรแกรม MATLAB พบว่าคำตอบที่นำมาใช้ผลการรันส่วนใหญ่ออกมาในรูปแบบ "Congratulation! Your Solutions found" ซึ่งแสดงว่าโปรแกรมวนหาคำตอบจนเป็นคำตอบที่ถูกต้องและเป็นค่าเหมาะสมสูงสุดจริง

จากการคำนวณพบว่าในกรณีที่ศึกษารถยนต์ที่มีความยาวตัวรถน้อยแต่มีความยาวของกันชนมาก โปรแกรมสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ดีกว่ารถยนต์ที่มีความยาวตัวรถมากแต่มีความยาวของกันชนน้อย กล่าวคือเมื่อเปลี่ยนเวลาที่ผ้าคลุมรถยนต์อัตโนมัติทำงาน โปรแกรมสามารถแก้ปัญหาทางการควบคุมที่ได้ผลสูงสุดของระบบพลศาสตร์ด้วยวิธีแคลคูลัสความแปรปรวนได้คำตอบให้เลือกหลายคำตอบ โดยจากปัญหากรณีเดียวกัน พบว่าที่เวลาน้อยกว่ามอเตอร์จะทำงานหนักกว่าที่เวลาการทำงานมาก และจากโปรแกรมผู้วิจัยกำหนดให้ทำงานไม่เกิน 10 วินาที เนื่องจากการทำงานที่นานเกินไป ไม่ก่อให้เกิดความสะดวกสบาย และเป็นการออกแบบที่ไม่นำใช้งาน

7. ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป

7.1 ถ้าต้องการผลการทดลองที่ดีขึ้นอาจแบ่งช่วงเวลาการศึกษาโดยใช้วิธีโคโลเคชันมากกว่า 10 ช่วง แต่การรันผลการทดลองจะนานมากยิ่งขึ้น อาจเปลี่ยนมาใช้คอมพิวเตอร์ที่มีคุณลักษณะเฉพาะ (Specification) ที่สูงขึ้นก็ได้

7.2 หากต้องการให้ผ้าคลุมรถยนต์อัตโนมัติเป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้มากที่สุด ผู้วิจัยก็สามารถเปลี่ยนปัญหาเงื่อนไขบังคับตามความเหมาะสมของปัญหาได้

7.3 ในการคำนึงถึงการได้มาจริงของผ้าคลุมรถยนต์อัตโนมัติต้องคำนึงถึงตัวผ้าที่เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เนื่องจากหากมีการรับแรงก็จะเปลี่ยนไป ในการทดลองนี้ใช้วัสดุชนิดไททาเนียม หากพบวัสดุที่มีความเหมาะสมมากกว่าไททาเนียมก็สามารถเปลี่ยนวัสดุได้ รวมทั้งรูปร่างของโครงสร้างจะต้องสวยงาม น่าใช้ และสามารถเข้าได้กับตัวรถเป็นอย่างดี ซึ่งในการทดลองนี้ไม่ได้ออกแบบไว้อย่างละเอียด เนื่องจากต้องการออกแบบเบื้องต้นให้เข้าใจง่ายที่สุด และสามารถทำการศึกษาต่อไปได้โดยสะดวกหากมีผู้ทำการศึกษาค้นคว้าออกแบบอย่างละเอียดได้ก็จะเป็นการดี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณในความกรุณาของ พันเอกสุโขต สัมปัตตะวนิช และผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชิต บัวแก้ว ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ให้แนวคิดในการวิเคราะห์ และช่วยแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น

ขอขอบพระคุณ พลโทอุดม พรหมโยธิน พลตรีปิยะ หิรัญรัตน์ พลตรีรัชพล ประทีปะวนิช รวมทั้งครอบครัวพันธ์กล้า และครอบครัวพรหมโยธิน ที่กรุณาแก้ปัญหาและให้การดูแลเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ พลโทสมจิตร และคุณแม่वासนา เสนิงค์ ณ อยู่ชยา ที่ให้การเลี้ยงดู อบรมสั่งสอนและเป็นแรงใจให้ดำเนินชีวิตจนถึงทุกวันนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Agrawal SK., Fabien BC.(1999). Optimization of dynamic systems. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- [2] Bock HG.(1978). Numerical solution of nonlinear multipoint boundary value problems with application to optimal control. ZAMM. p. 58.
- [3] Craig JJ. (1986). Introduction to Robotic: Mechanics and control. Addison-Wesley Publishing Company.
- [4] Mark WS.(1989).Robot dynamics and control. University of Illinois at Urbana-Champaign.
- [5] Kane TR., Levinson DA.(1985). Dynamics: Theory and applications. McGraw-Hill Inc.
- [6] Veeraklaew T. (2000) Extensions of optimization theory and new computational approaches for higher-order dynamic systems [Dissertation]. Delaware: The University of Delaware.
- [7] Isuzu MU-7. (Serial online). Available from URL: <http://www.isuzu.com>. Accessed February 14,2005.