บทที่ 2
กรอบแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

2.1.1 แนวคิดการจัดลำดับความสำคัญของโครงการ

ในงานบำรุงรักษาทางหลวงนั้นผู้มีหน้าที่ตัดสินใจมักจะต้องเกี่ยวข้องกับการเลือกอยู่เสมอ การเลือกที่ว่านั้นก็คือการเลือกที่จะบำรุงรักษาทางตามลำดับความสำคัญภายใต้งบประมาณที่มีจำกัด ในการพิจารณาเลือกตัวเลือก(alternative)ใดๆก็ตาม ผู้ตัดสินใจมักจะทำการเปรียบเทียบคุณลักษณะ(attributes) ของแต่ละตัวเลือก แล้วเลือกตัวเลือกที่มีคุณลักษณะดีกว่าตัวเลือกอื่นๆ ในงานบำรุงทางตัวเลือกจะหมายถึงโครงการซ่อมบำรุงใดๆที่นำมาพิจารณา ส่วนคุณลักษณะของตัวเลือกนั้นโดยทั่วไปจะมีความสัมพันธ์กับเป้าหมายหรือผลลัพธ์ที่ต้องการ ซึ่งคุณลักษณะจะสะท้อนถึงหลักเกณฑ์(criteria) ที่ผู้ตัดสินใจนำมาพิจารณา อย่างเช่น หากใช้หลักเกณฑ์ทางเศรษฐศาสตร์ ก็อาจประกอบด้วยคุณลักษณะได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการลงทุน ค่าบำรุงรักษา หลักเกณฑ์ทางการขนส่ง ประกอบด้วยคุณลักษณะได้แก่ การเคลื่อนตัว(flow) หรือ ความจุ(capacity) ที่มากขึ้น ความสะดวกสบายของผู้ขับขี่ ความปลอดภัยในการสัญจร เป็นต้น แต่โดยทั่วไปตัวเลือกต่างๆที่มีอยู่มักจะมีคุณลักษณะ(attributes) ดีกว่าและด้อยกว่าตัวเลือกอื่นๆ ปะปนกันไป มีน้อยครั้งที่จะปรากฏตัวเลือกที่มีคุณลักษณะเด่นกว่าตัวเลือกอื่นในทุกๆด้าน จึงเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งว่าจะเลือกตัวเลือกใดจึงจะเหมาะสมที่สุด

สำหรับกรณีการเลือกโครงการบำรุงทางซึ่งมักจะมีจำนวนโครงการสูง ในแต่ละโครงการมีคุณลักษณะทั้งดีและด้อยปะปนกัน รวมทั้งมีเงื่อนไขบังคับ (constraints) ในด้านงบประมาณ ด้านนโยบาย และอื่นๆนั้นถือเป็นปัญหาซับซ้อน ควรมีวิธีการ/หลักเกณฑ์ และการวิเคราะห์เชิงระบบช่วยในการตัดสินใจสำหรับผู้บริหาร ในปัจจุบันมีการพัฒนาระบบช่วยในการตัดสินใจในรูปแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์รู้จักกันในชื่อ ระบบช่วยในการตัดสินใจ (Decision Support System)

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การคัดเลือกตัวเลือกที่เหมาะสม

วิธีการคัดเลือกตัวเลือกที่เหมาะสมมากมายหลายวิธี ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท (Sen and Yang, 1998) ได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. การเลือกตัวเลือกที่มีอยู่โดยใช้หลักการจัดลำดับความสำคัญตามคุณลักษณะตัวเลือก (Multiple Attribute Decision Making , MADM)

2. การสังเคราะห์ตัวเลือกบนพื้นฐานของการจัดลำดับความสำคัญตามเป้าหมาย (Multiple Objective Decision Making , MODM)

2.2.1 การเลือกตัวเลือกที่มีอยู่โดยใช้หลักการจัดลำดับความสำคัญตามคุณลักษณะตัวเลือก(Multiple Attribute Decision Making, MADM)

ในกรณีที่มีตัวเลือกอยู่กลุ่มหนึ่ง และผู้ตัดสินใจมีข้อมูลคุณลักษณะต่าง ๆ ของทุก ๆ ตัวเลือก การเลือกตัวเลือกใดนั้นทำได้โดยการนำเอาคุณลักษณะของทุกตัวเลือกมาเปรียบเทียบกัน แล้วคำนวณให้ค่าคะแนนแก่ตัวเลือกเหล่านั้น แล้วจัดลำดับความสำคัญตามคะแนน การคำนวณค่าคะแนนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธี TOPSIS และวิธี AHP เป็นต้น

ก. การจัดลำดับความสำคัญของตัวเลือกโดยวิธี TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

การจัดลำดับความสำคัญของตัวเลือกโดยวิธีนี้ เริ่มแรกอาจนำข้อมูลตัวเลือกที่มีอยู่มาเขียนอยู่ในรูปตารางเพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะต่างๆให้เห็นเด่นชัดยิ่งขึ้น ตามตาราง 2.1

ตาราง 2.1 ตารางการตัดสินใจ (ที่มา : Sen and Yang, 1998)

ทางเลือก(a)	คุณลักษณะ(y)			
	y_1	y_2	...	y_k
a_1	y_{11}	y_{12}	y_{13}	y_{1k}
a_2	y_{21}	y_{22}	y_{23}	Y_{2k}
...	...	...	...	...
a_n	y_{n1}	y_{n2}	y_{n3}	y_{nk}

โดยให้ y_j = คุณลักษณะ j ($j = 1,...,k$)

a_i = ตัวเลือก i ($i = 1,...,n$)

y_{ij} = ค่าคุณลักษณะ j ของตัวเลือก i

หลักการจัดลำดับความสำคัญของตัวเลือกของวิธี TOPSIS คือ พิจารณาคุณลักษณะของตัวเลือกว่าใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติ (ideal point) และ ห่างจากค่าทางลบในอุดมคติ (negative ideal point) มากน้อยเพียงใด ก็จะมีความสำคัญมากน้อยตามนั้น

วิธีการคือ จำลองตัวเลือกเทียมขึ้นมา 2 ตัวเลือก ตัวเลือกเทียมตัวแรกจะเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดในอุดมคติ(positive ideal solution) ซึ่งจะมีคุณลักษณะทุกตัวเด่นกว่าตัวเลือกใดๆทั้งหมด และตัวเลือกเทียมตัวที่สองจะเป็นตัวเลือกที่ด้อยที่สุดในอุดมคติ (negative-ideal solution) มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณลักษณะทุกตัวด้อยกว่าตัวเลือกใดๆทั้งหมด จากนั้นทำการเปรียบเทียบตัวเลือกใดๆกับตัวเลือกเทียมทั้งสอง ตัวเลือกที่ดีและมีความสำคัญก็คือตัวเลือกที่มีความใกล้เคียงกับตัวเลือกที่ดีที่สุดในอุดมคติ และไกลห่างจากตัวเลือกที่ด้อยที่สุดในอุดมคตินั่นเอง (Sen and Yang, 1998) ซึ่งวิธีนี้มีรายละเอียดขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาให้ค่าน้ำหนักแก่คุณลักษณะที่พิจารณา เพราะปกติแล้วผู้ตัดสินใจจะให้ความสำคัญแก่คุณลักษณะของทางเลือกไม่เท่ากัน เช่น ความปลอดภัยย่อมมีความสำคัญมากกว่าความสะดวกสบายของผู้ขับขี่ ดังนั้นจึงให้ค่าน้ำหนักแก่ คุณลักษณะความปลอดภัย มากกว่าคุณลักษณะความสะดวกสบาย เป็นต้น

การให้ค่าน้ำหนักแก่คุณลักษณะอาจทำได้หลายวิธี เช่น การให้ค่าน้ำหนักโดยตรง (direct assignment) วิธีนี้จะอาศัยประสบการณ์ของผู้ตัดสินใจทำการเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างคุณลักษณะด้วยกันเองแล้วให้คะแนนสูง-ต่ำ ตามความสำคัญ ซึ่งจะมีช่วงคะแนนตั้งแต่ 0 ถึง 10 (Sen and Yang, 1998) หรือ อาจให้ค่าน้ำหนักเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ก็ได้ซึ่งผลรวมของค่าน้ำหนักทุกตัวจะเท่ากับ 1.00 (Dickey, 1983)

ขั้นตอนที่ 2 นำค่า y_{ij} จากตารางที่ 1 มาสร้างเป็นเมตริกการตัดสินใจ Z (normalized decision matrix) มีสมาชิกภายในเมตริก คือ z_{ij} ดังสมการ (2.1)

$$z_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum y_{ij}^2}} \quad ; i = 1,2,\ldots,n \quad ; j = 1,2,\ldots,k \tag{2.1}$$

ขั้นตอนที่ 3 นำค่าน้ำหนักที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 คูณกับเมตริกการตัดสินใจในขั้นตอนที่ 2 ได้เป็น Weighted normalized decision matrix, X มีสมาชิกภายในเมตริก คือ x_{ij} ดังสมการ (2.2)

$$x_{ij} = w_j z_{ij} \tag{2.2}$$

ขั้นตอนที่ 4 สร้างตัวเลือกที่ดีที่สุดในอุดมคติ (ideal solution) และตัวเลือกที่ด้อยที่สุดในอุดมคติ (negative-ideal solution) ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ a^* และ a^- ตามลำดับ โดยเขียนในรูปทั่วไปได้ดังสมการ (2.3) และ (2.4)

$$\begin{aligned} a^* &= \left\{\left(\max_i x_{ij} \mid j \in J\right), \left(\min_i x_{ij} \mid j \in \hat{J}\right) \mid i = 1,\ldots,n\right\} \\ &= \left\{x_1^*, x_2^*, \ldots, x_k^*\right\} \end{aligned} \tag{2.3}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$a^- = \left\{\left(\max_i x_{ij} \mid j \in J\right), \left(\min_i x_{ij} \mid j \in \hat{J}\right) \mid i = 1,\ldots,n\right\} \quad (2.4)$$
$$= \left\{x_1^-, x_2^-, \ldots, x_k^-\right\}$$

โดยที่ J คือ index set of benefit attributes และ $\hat{J}$ คือ index set of cost attributes

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณระยะห่างระหว่างตัวเลือกใดๆ กับ ตัวเลือกที่ดีที่สุดในอุดมคติ(Ideal solution) และตัวเลือกที่ด้อยที่สุดในอุดมคติ (negative-ideal solution) ได้จากสมการ (2.5) และ (2.6) ตามลำดับ

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{k}\left(x_{ij} - x_j^*\right)^2} \quad i = 1,\ldots,n \quad (2.5)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{k}\left(x_{ij} - x_j^-\right)^2} \quad i = 1,\ldots,n \quad (2.6)$$

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณหาค่า Priority Index, PI_i ซึ่งเป็นดัชนีแสดงความใกล้เคียงสัมพัทธ์ (Relative closeness) ของตัวเลือก i กับตัวเลือกที่ดีที่สุดในอุดมคติ (ideal solution) จากสมการ (2.7)

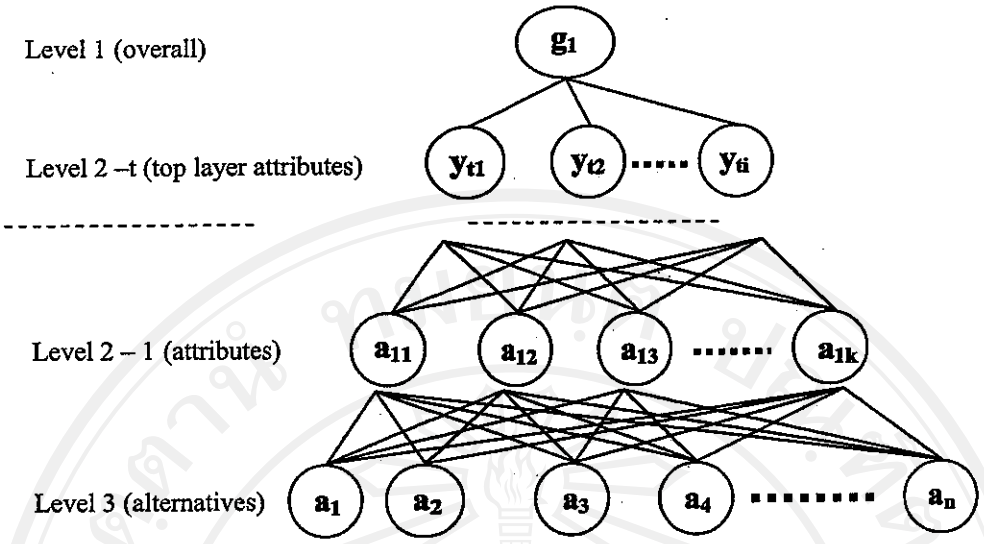
$$PI_i = \frac{S_i^-}{\left(S_i^- + S_i^*\right)} \quad (2.7)$$

โดย PI_i = ค่า Priority Index ของตัวเลือก i

ขั้นตอนสุดท้าย จัดลำดับความสำคัญของตัวเลือกตามค่า Priority Index

ข. การจัดลำดับความสำคัญของตัวเลือกโดยวิธีการเปรียบเทียบทีละคู่ (Analytic Hierarchy Process, AHP)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.1 แสดงการเปรียบเทียบตัวเลือกเป็นคู่ๆ ภายใต้คุณลักษณะใดๆ

ที่มา : Sen and Yang (1998)

พิจารณา รูป 2.1 ซึ่งแสดงถึงรูปแบบทั่วไปของปัญหา MADM หากพิจารณาเพียง 1 layer อาจกล่าวได้ว่ากรณีมีตัวเลือกจำนวน n ตัวเลือก (a_i , i=1,…,n) และ คุณลักษณะ (y_j) จำนวน k คุณลักษณะ (y_j , j=1,…,k) เมื่อพิจารณาเฉพาะคุณลักษณะใดๆอันหนึ่ง นำตัวเลือกมาเปรียบเทียบกันทีละคู่ๆ จนครบทุกตัวเลือก เมื่อให้ y_{il} แสดงระดับความสำคัญสัมพัทธ์ของตัวเลือก a_i เทียบกับตัวเลือก a_l คิดเป็น y_{il} คะแนน จะสามารถเขียนเป็นตารางเปรียบเทียบ (pairwise comparisons) ดังตารางที่ 2.2 และเมื่อพิจารณาจนครบทุกคุณลักษณะ ได้เขียนเป็นตารางเปรียบเทียบได้จำนวนทั้งหมด k ตาราง ซึ่งเท่ากับจำนวน k คุณลักษณะ

ตาราง 2.2 เปรียบเทียบตัวเลือกภายใต้คุณลักษณะ y_j

ตัวเลือก	a_1	a_2	a_3	…	a_n
a_1	1	y_{12}	y_{13}	…	y_{1n}
a_2	y_{21}	1	y_{23}	…	y_{2n}
a_3	y_{31}	y_{32}	1	…	y_{31}
…	…	…	…	…	…
a_n	y_{n1}	y_{n2}	y_{n3}	…	1

จากตาราง 2.2 ค่า y_{il} คือ คะแนนของตัวเลือก a_i เทียบกับตัวเลือก a_l

โดย $y_{ii} = 1$, $y_{il} = 1/y_{li}$, $y_{il} \neq 0$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลักการให้คะแนนจะยึดตามหลักการให้คะแนนตามระดับความสำคัญดังตาราง 2.3 เช่น ภายใต้คุณลักษณะ j ตัวเลือก A เป็นที่ต้องการกว่าตัวเลือก B ปานกลาง อาจให้คะแนนตัวเลือก A=5 คะแนน ส่วนตัวเลือก B จะได้คะแนนเป็นเศษส่วนของตัวเลือก A คือ 1/5 คะแนน เป็นต้น (Sen and Yang, 1988)

ตาราง 2.3 แสดงการให้ค่าคะแนนตามการเปรียบเทียบความสำคัญ

ระดับความสำคัญสัมพัทธ์	คะแนน
สำคัญเท่าเทียมกัน หรือใกล้เคียงกัน	1
สำคัญมากกว่าเล็กน้อย	3
สำคัญมากกว่าปานกลาง	5
สำคัญมากกว่าอย่างมาก	7
สำคัญมากกว่าอย่างยิ่งยวด	9
สำคัญมากกว่าอยู่ในช่วงต่างๆข้างต้น	2 , 4 , 6 , 8

ขั้นตอนการจัดลำดับความสำคัญของทางเลือกโดยวิธี AHP มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 จากตารางเปรียบเทียบตัวเลือกภายใต้คุณลักษณะ j ทำการคำนวณหาค่า Local Priority ของแต่ละตัวเลือกภายใต้คุณลักษณะใดๆจากสมการ (2.8) จนครบหมดทุกตาราง (จำนวน k ตาราง)

$$LP_{ij} = \frac{\sum_{l=1}^{n} m_{il}}{\sum_{l=1}^{n}\sum_{i=1}^{n} m_{il}} \qquad (2.8)$$

โดย LP_{ij} คือค่า Local Priority ของตัวเลือก i ภายใต้คุณลักษณะ j

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อหาค่า Local Priority ครบหมดทุกตัวแล้ว นำมาเขียนอยู่ในรูปตารางดังตาราง 2.4

ตาราง 2.4 แสดงค่า Local Priority ของแต่ละตัวเลือก

ตัวเลือก	Local Priority			
	y_1	y_2	.....	y_k
a_1	LP_{11}	LP_{12}	LP_{13}	LP_{1k}
a_2	LP_{21}	LP_{22}	LP_{23}	LP_{2k}
....	...	...	...	...
a_n	LP_{n1}	LP_{n2}	LP_{n3}	LP_{nk}

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาค่าน้ำหนักของคุณลักษณะแต่ละตัว ซึ่งการหาค่าน้ำหนักสามารถหาได้โดยการให้คะแนนตามการเปรียบเทียบความสำคัญเป็นคู่ ๆ แล้วคำนวณค่าน้ำหนักตามวิธีการเดียวกันกับการหาค่า Local Priority ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาค่า Global Priority จากสมการ (2.9)

$$GP_i = \sum_{j=1}^{k} w_j LP_{ij} \qquad (2.9)$$

โดย GP_i คือ ค่า Global Priority ของตัวเลือก a_i

w_j คือค่าน้ำหนักของคุณลักษณะ j ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนสุดท้าย จัดลำดับความสำคัญของตัวเลือกตามค่า Global Priority

วิธี AHP นี้เหมาะที่จะใช้จัดลำดับความสำคัญของตัวเลือก ในกรณีที่คุณลักษณะของตัวเลือกเป็นแบบเชิงคุณภาพ (qualitative) ซึ่งไม่สามารถประเมินค่าออกมาเป็นตัวเลขได้โดยตรง ซึ่งการใช้วิธี TOPSIS ไม่สามารถคำนวณค่าคะแนนได้ (Sen and Yang, 1998)

2.2.2 การสังเคราะห์ตัวเลือกบนพื้นฐานของการจัดลำดับความสำคัญตามเป้าหมาย (Multiple Objective Decision Making, MODM)

คือการคัดเลือกตัวเลือกที่เหมาะสมที่ทำให้เป้าหมายที่ผู้ตัดสินใจวางเอาไว้บรรลุผลได้มากที่สุดภายใต้เงื่อนไขหรือข้อจำกัดใดๆ โดยที่เป้าหมายจะแสดงออกในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ (objective function) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของตัวแปรคุณลักษณะที่เกี่ยวข้อง การวิเคราะห์โดยวิธีนี้ประกอบด้วยการวิเคราะห์หาค่าคุณลักษณะและการวิเคราะห์หาตัวเลือกหรือกลุ่มตัวเลือกที่ให้ค่าเป้าหมายดีที่สุด (search method)

ก. สมการเป้าหมาย (objective function) และสมการข้อจำกัด (constraints)

ในการคัดเลือกโครงการที่เหมาะสมโดยวิธีการทางคณิตศาสตร์จำเป็นต้องมีการสร้างแบบจำลอง (model) จำลองสภาพการณ์ต่างๆออกมาในรูปสมการ หรือ อสมการ เชิงคณิตศาสตร์ แล้วทำการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด แบบจำลองนี้จะประกอบด้วย

1. สมการเป้าหมาย (objective function) คือสมการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ เพื่อกำหนดเป้าหมายสูงสุดและเป้าหมายต่ำสุด

2. สมการข้อจำกัด (constraints) กำหนดช่วงเป็นไปได้ของตัวแปรในสมการหรืออสมการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข. การหาคำตอบหรือผลลัพธ์ของปัญหาเชิงเส้นตรง (Linear Programming)

ปัญหาเชิงเส้นตรง หมายถึง กรณีความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการ หรือ อสมการต่างๆ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

วิธีที่นิยมใช้คือวิธี ซิมเพล็ก (simplex method) ซึ่งเป็นวิธีที่อาศัยเมตริกมาช่วยในการจัดรูปแบบปัญหาให้มีระบบยิ่งขึ้น ในขั้นแรกเริ่มโดยจัดรูปแบบของสมการเป้าหมาย และสมการข้อจำกัด ให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน ดังนี้

1. อสมการข้อจำกัดทั้งหมดต้องอยู่ในรูปสมการ
2. จำนวนเลขด้านขวามือไม่ติดลบ
3. ตัวแปรทั้งหมดไม่ติดลบ
4. สมการเป้าหมายจะเป็นการหาค่าต่ำสุดหรือสูงสุดก็ได้

วิธีการเปลี่ยนรูปแบบของ LP ทั่วไปเป็นLP แบบมาตรฐาน

1) การเปลี่ยนอสมการให้อยู่ในรูปสมการ มีวิธีการดังนี้

ก. กรณีที่อสมการข้อจำกัดอยู่ในรูป $\leq$ ให้หาตัวแปรมาเพิ่มทางซ้ายมือของอสมการเพื่อให้เท่ากับด้านขวา เช่น

$$a_1x_1+a_2x_2 \leq b \tag{2.10}$$

จะเปลี่ยนเป็น $$a_1x_1+a_2x_2+S_1=b \tag{2.11}$$

โดยจะเรียก S_1 ว่าเป็นตัวแปรขาด (Slack variable) และ $S_1 \geq 0$

ข. กรณีที่อสมการข้อจำกัดอยู่ในรูป $\geq$ ให้หาตัวแปรมาหักออกจากทางซ้ายมือของอสมการ เช่น

$$a_1x_1+a_2x_2 \geq b \tag{2.12}$$

จะเปลี่ยนเป็น $$a_1x_1+a_2x_2-S_2=b \tag{2.13}$$

โดยจะเรียก S_2 ว่าเป็นตัวแปรเกิน (surplus variable) และ $S_1 \geq 0$

2) ในบางกรณีจะมีตัวแปรที่ไม่มีขอบเขตของเครื่องหมาย คืออาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ เช่น x_i ไม่มีขอบเขตของเครื่องหมาย จะนิยามให้ $x_i = x_i^+ + x_i^-$ โดยที่ $x_i^+ = x_i$ ถ้า $x_i \geq 0$ $x_i^+ = 0$ ถ้า $x_i < 0$ และ $x_i^- = -x_i$ ถ้า $x_i \leq 0$ $x_i^- = 0$ ถ้า $x_i > 0$

ขั้นตอนการแก้ปัญหาโดยวิธีซิมเพล็ก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การแก้ปัญหาโดยวิธีซิมเพล็กมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 จากรูปแบบ LP เขียนให้อยู่ในรูปมาตรฐาน เช่น

$$\text{Max } z = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 \tag{2.14}$$

ภายใต้ข้อจำกัด

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 \le b_1 \tag{2.15}$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_2x_3 \le b_2 \tag{2.16}$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 \le b_3 \tag{2.17}$$

เปลี่ยนให้อยู่ในรูปมาตรฐานได้เป็น

$$z - c_1x_1 - c_2x_2 - c_3x_3 = 0 \tag{2.18}$$

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + S_1 = b_1 \tag{2.19}$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + S_2 = b_2 \tag{2.20}$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + S_3 = b_1 \tag{2.21}$$

นำมาเขียนตารางเพื่อหาผลลัพธ์เบื้องต้นได้ดังนี้

ตาราง 2.5 ตารางเพื่อหาผลลัพธ์เบื้องต้น

	x_1	x_2	x_3	S_1	S_2	S_3	b
S_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	1	0	0	b_1
S_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	0	1	0	b_2
S_3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	0	0	1	b_3
z	$-c_1$	$-c_2$	$-c_3$	0	0	0	0

ภายในตารางจะเป็นสัมประสิทธิ์ของตัวแปร โดยมีหลักของวิธีซิมเพล็กกำหนดไว้ว่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรเพิ่มต้องอยู่ในรูปเมตริกเอกลักษณ์

จากตารางหาผลลัพธ์เบื้องต้นได้โดยให้ $x_1 = 0$, $x_2 = 0$, $x_3 = 0$ จะได้ $S_1 = b_1$, $S_2 = b_2$, $S_3 = b_3$ และ $z = 0$ คำตอบนี้จะเป็นคำตอบพื้นฐาน

ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบดูว่าผลลัพธ์ที่ได้เป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดหรือยัง โดยพิจารณาจากสมการเป้าหมาย

$$z - c_1x_1 - c_2x_2 - c_3x_3 = 0 \tag{2.22}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถ้า x_1, x_2, x_3 เป็น 0 ทุกตัว จะได้ $z = 0$ แต่ถ้าเพิ่มค่าตัวแปรตัวใดตัวหนึ่ง สมมติว่าเป็น x_3 ซึ่ง $x_3 \neq 0$ จะได้ว่า $z = c_3x_3$ จะเห็นว่า z มีค่าเพิ่มขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่า ตราบใดที่ค่า c_1, c_2, c_3 ยังมีค่าเป็นลบ การดำเนินการเพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดยังมีต่อไปได้อีก

กรณีที่สมการเป้าหมายเป็น Min การใช้เครื่องหมายจะตรงข้ามกับที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

ขั้นตอนที่ 3 ในการที่จะเพิ่มค่าตัวแปรในขั้นตอนที่ 2 จะต้องพิจารณาหาตัวแปรที่เพิ่มขึ้นแล้วทำให้ค่าของสมการเป้าหมายเพิ่มขึ้นได้มากที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าลบสูงสุดอยู่ที่ตัวแปรไหน ถ้าเราเพิ่มค่าของตัวแปรนั้นจะทำให้สมการเป้าหมายมีค่าเพิ่มมากที่สุด สมมติจากตาราง 2.5ให้ c_2 มีค่าลบสูงสุดดังนั้น x_2 จะเป็นค่าที่จะเพิ่มค่าให้ก่อน

เมื่อเพิ่มค่าตัวแปร x_2 ก็จะต้องลดค่าตัวแปรพื้นฐาน S_1 , S_2 , S_3 เพื่อให้สอดคล้องกับสมการข้อจำกัด ในการพิจารณาว่าควรลดค่าตัวแปรใด จะดูจากค่าของ b_1/a_{12} , b_2/a_{22} , b_3/a_{32} โดยที่ค่าของตัวหารไม่เป็นศูนย์หรือค่าลบ แล้วเลือกตัวที่มีค่าน้อยที่สุด สมมติว่า b_2/a_{22} มีค่าน้อยที่สุด ตัวแปรที่ควรจะลดค่าคือ S_2 และสัมประสิทธิ์ในช่องที่เกิดจากการตัดกันของตัวแปรที่เพิ่มค่าและลดค่าจะเรียกว่าจุดหมุน (Pivot point) ในที่นี้คือ a_{22} เราอาจเรียกตัวแปรที่ลดค่าว่า ตัวแปรออก ส่วน ตัวแปรที่เพิ่มค่าเรียกว่าตัวแปรเข้า

ขั้นตอนที่ 4 จากจุดหมุนใช้วิธีทางพีชคณิต คือใช้การกระทำเบื้องต้นกับแถว ทำให้จุดหมุนมีค่าเป็น 1 และสัมประสิทธิ์ตัวอื่นในหลักเดียวกันกับจุดหมุนมีค่าเป็น 0 ทุกตัว ซึ่งผลที่ได้จะทำให้ z มีค่าสูงขึ้น

ถ้าผลลัพธ์ที่ได้ยังไม่ดีที่สุด คือกรณีที่เป็น Max สัมประสิทธิ์ c_1, c_2, c_3 ยังมีบางตัวเป็นลบอยู่ ให้กลับไปเริ่มต้นตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ใหม่ แล้วทำไปจนกว่า c_1, c_2, c_3 จะเป็นบวกหมด

ค. การหาคำตอบหรือผลลัพธ์ของปัญหาไม่เชิงเส้นตรง (Nonlinear Programming)

ลักษณะของรูปแบบปัญหาไม่เชิงเส้นตรงโดยทั่วไปเขียนได้ดังนี้ (วิจิตร ตัณฑสุทธ์ และคณะ, 2524)

สมการเป้าหมาย $\quad \text{Max } z = f(X) \qquad (2.23)$

อสมการข้อจำกัด $\quad g_i(X) \leq 0 \text{ , } i = 1,2,\ldots,m \qquad (2.24)$

$\quad X \geq 0$

โดยที่สมการเป้าหมาย หรือ อสมการข้อจำกัด อันใดอันหนึ่งอยู่ในรูปไม่ใช่เชิงเส้นตรง (non linear) เพื่อความสะดวกในการกล่าวถึงวิธีเฉพาะบางอย่างซึ่งใช้ในการแก้ปัญหาไม่เชิง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เส้นตรง สมการและอสมการต่างๆข้างต้นสมมติว่าเป็นฟังก์ชันต่อเนื่องและสามารถหาอนุพันธ์ได้ (continuously differentiable function)

เนื่องจากรูปแบบแบบปัญหาไม่เชิงเส้นตรงมีมากมายหลายลักษณะจนไม่มีวิธีใดซึ่งจะสามารถใช้ได้กับทุกรูปแบบปัญหา ไม่เหมือนกับรูปแบบปัญหาเชิงเส้นตรงที่วิธีซิมเพล็ก สามารถใช้แก้ปัญหาได้ทุกปัญหา ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวถึงการโปรแกรมไม่เชิงเส้นเฉพาะรูปแบบปัญหาเซบพาราเบิล (separable programming) กล่าวคือสมการในรูปแบบปัญหาเป็นไปตามเงื่อนไขความแยกตัวได้(separability condition) โดยเงื่อนไขความแยกตัวได้ สามารถเขียนได้ดังนี้

สมการ $f(X)$ และ $g_i(X)$ จะสามารถแยกตัวได้เมื่อเงื่อนไขต่อไปนี้เป็นจริงเท่านั้น คือ

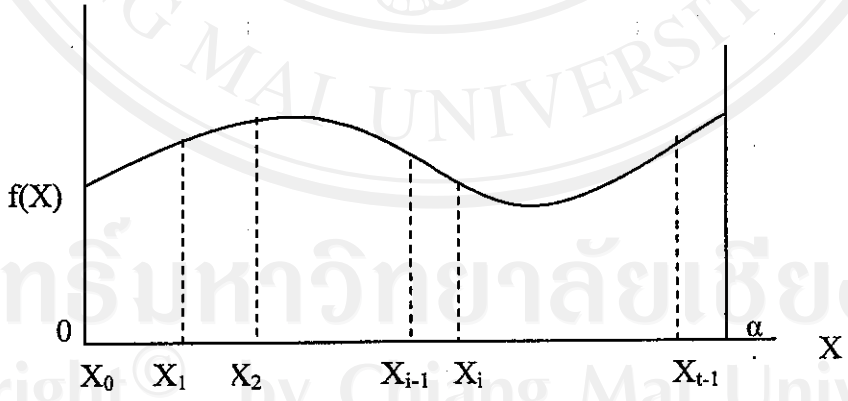
$$f(X) = \sum_{j=1}^{n} f_j(x_j) \tag{2.25}$$

$$g_i(X) = \sum_{j=1}^{n} g_{ij}(x_j) \tag{2.26}$$

การแก้ปัญหาในลักษณะของรูปแบบปัญหาเซบพาราเบิลมีอยู่หลายวิธี แต่วิธีที่เข้าใจง่ายและใช้ง่าย คือวิธีประมาณโดย λ เพราะเป็นการนำเอาวิธีซิมเพล็กมาประยุกต์ใช้

การหาคำตอบโดยวิธีประมาณโดย λ (λ approximation)

สมมติว่า $f(x)$ เป็นฟังก์ชันของตัวแปรเดี่ยว x และ $x \in [0 , \alpha]$ ซึ่ง $0 \leq \alpha \leq \infty$

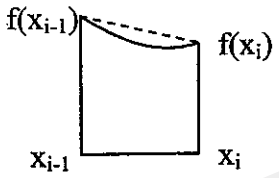


รูป 2.2 ฟังก์ชันไม่เชิงเส้นตรง $f(X)$

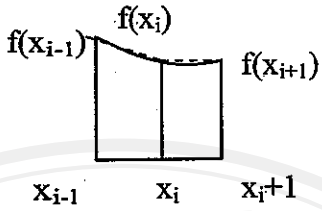
พิจารณารูป 2 แบ่งช่วง $[0 , \alpha]$ ออกเป็นกริด (grid) เล็กๆ ดังต่อไปนี้

$0 = x_0 \leq x_1 \leq x \ldots \leq x_t = \alpha$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.2-1



รูป 2.2-2

จากรูป 2.2-1 ถ้านำเอา f(x) ในช่วง x_{i-1} และ x_i มาพิจารณา จะเห็นว่าสามารถเขียนสมการเส้นตรงเชื่อมระหว่าง $f(x_{i-1})$ กับ $f(x_i)$ ได้เป็น

$$f(x) = \lambda_{i-1} f(x_{i-1}) + \lambda_i f(x_i)$$

โดยที่ $\lambda_{i-1} \geq 0$, $\lambda_i \geq 0$

และ $\lambda_{i-1} + \lambda_i = 1$

จากรูป 2.2-2 ถ้าพิจารณา f(x) ในช่วง x_{i-1} , x_i และ x_{i+1} สมการของเส้นตรง 2 เส้นที่ต่อระหว่าง f(xi-1) , f(xi) และ $f(x_{i+1})$ เขียนได้เป็น

$$f(x) = \lambda_{i-1} f(x_{i-1}) + \lambda_i f(x_i) + \lambda_{i+1} f(x_{i+1})$$

โดยมีเงื่อนไขว่า 1. $\lambda_{i-1} + \lambda_i + \lambda_{i+1} = 1$ และ λ_{i-1} , λ_i , $\lambda_{i+1} \geq 0$

2. ค่า λ จะมีค่าเป็นบวกได้ไม่เกิน 2 ค่า และถ้ามี 2 ค่าของ λ ที่เป็นบวก λ ทั้งสองจะต้องเป็นค่า λ ของ $f(x_i)$ ซึ่งอยู่ต่อกัน (adjacent point)

ดังนั้น สมการของเส้นตรงซึ่งจะใช้แทนฟังก์ชัน f(x) อาจเขียนได้เป็น

$$\hat{f}(x) = \sum_{k=0}^{t} \lambda_k f(x_k) \qquad (2.27)$$

ภายใต้เงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. $\sum_{k=0}^{t} \lambda_k = 1$ โดยที่ $\lambda_k \geq 0$ สำหรับทุกค่าของ k

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. จากจำนวนทั้งหมดของ λ จะมีค่า λ ที่เป็นบวกเกินกว่า 2 ค่าไม่ได้ ถ้ามีค่าเป็นบวก 2 ค่า ทั้งสองค่านั้นจะต้องเป็นค่าของ λ ซึ่ง $f(x_i)$ อยู่ต่อเนื่องกัน ซึ่งเงื่อนไขนี้เรียกว่า เงื่อนไขของการอยู่ต่อเนื่องกัน (adjacent condition)

จากวิธีการประมาณฟังก์ชันโดย λ เรานำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาไม่เชิงเส้นได้โดย

1. ทุกค่าของตัวแปร x_j ซึ่ง $x_j \in [0, \alpha_j]$ เรานำมาแบ่งออกเป็น กริด ดังนี้

$$0 = x_{0j} \le x_{1j} \le \ldots \le x_{tj} = \alpha_j$$

2. จากวิธีประมาณฟังก์ชันโดย λ เราจะสามารถเขียนรูปแบบปัญหาไม่เชิงเส้นแบบเซพาราเบิลดังสมการ (28)-(30) เป็นรูปแบบปัญหาในเทอมของ λ ได้ดังสมการ (31)-(34)

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^{n} f_j(x_j) \tag{2.28}$$

$$\text{Subject to } \sum_{j=1}^{n} g_{ij}(x_j) \le b_i \quad i = 1,2,\ldots,m \tag{2.29}$$

$$x_j \ge 0 \tag{2.30}$$

$$\text{Max } \hat{Z} = \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=0}^{t_j} \lambda_{kj} f_j(x_{kj}) \tag{2.31}$$

$$\text{S.T. } \hat{g}_i(x) = \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=0}^{t_j} \lambda_{kj} g_{ij}(x_{kj}) \le b_i \quad i = 1,2,\ldots,m \tag{2.32}$$

$$\sum_{k=0}^{t_j} \lambda_{kj} = 1 \quad ; j = 1,2,\ldots,n \tag{2.33}$$

$$\lambda_{kj} \ge 0 \tag{2.34}$$

โดยทุกๆ j ค่า λ_{kj} จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขของการอยู่ต่อเนื่องกัน (adjacent condition)

จะเห็นได้ว่าเมื่อเราใช้ฟังก์ชันในเทอมของ λ ประมาณฟังก์ชันของ x เราได้เปลี่ยนจากฟังก์ชันไม่เชิงเส้นไปเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นในเทอมของ λ ดังนั้นวิธีการซิมเพล็ก(simplex method) จึงสามารถนำมาใช้หาค่าความเหมาะสมของ λ ได้ โดยเพิ่มเติมเงื่อนไขของการอยู่ต่อเนื่องกันดังนี้

สำหรับทุกๆค่าของ λ_{kj} ซึ่งนำเข้าไปเพิ่มหรือลดค่าของสมการเป้าหมายในตารางเพื่อหาผลลัพธ์ จะต้องพิจารณาสิ่งเหล่านี้ด้วยคือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. ค่า $c_j - z_j$ ซึ่งสอดคล้องกับ λ_{kj} จะต้องมากกว่า หรือเท่ากับ 0 (กรณีของ Max)

2. หลังจากที่นำเอา λ_{kj} ตัวใหม่เข้าไปในตารางเพื่อหาผลลัพธ์ ตัวแปรซึ่งอยู่ในตารางหาผลลัพธ์จะต้องคงไว้ซึ่งเงื่อนไขของการอยู่ต่อเนื่องกัน

นั่นคือ เราจะเลือกค่าที่มากที่สุดของ $c_j - z_j$ (ค่าที่เพิ่มขึ้นในสมการเป้าหมายเนื่องจากการนำเอา λ_{kj} เข้าไปในตารางเพื่อหาผลลัพธ์) ถ้าหลังจากที่นำเอา λ_{kj} ที่สอดคล้องกับ $c_j - z_j$ เข้าไปในตารางเพื่อหาผลลัพธ์แล้วปรากฏว่าตัวแปรในตารางไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของการอยู่ต่อเนื่องกัน ก็ให้ไปพิจารณา λ_{kj} ที่ให้ค่า $c_j - z_j$ มากรองลงมา และพิจารณาเงื่อนไขของการอยู่ต่อเนื่องกัน ทำเช่นนี้จนกระทั่งไม่มี λ_{kj} ซึ่งสามารถนำเข้าไปในตารางได้อีก ก็จะได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสม

สมมติว่า λ^*_{kj} เป็นผลลัพธ์ที่เหมาะสม สูตรต่อไปนี้ใช้ในการแปลงผลลัพธ์ λ^*_{kj} ไปอยู่ในรูปของผลลัพธ์ที่เหมาะสมในปัญหาไม่เชิงเส้นเดิม

$$\hat{z}^* = \sum_{j=1}^{n}\sum_{k=0}^{t_j} f_j(x_{kj})\lambda^*_{kj} \tag{2.35}$$

$$\hat{x}^*_j = \sum_{k=0}^{t_j} x_{kj}\lambda^*_{kj} \tag{2.36}$$

จากการใช้วิธีประมาณโดย λ เราได้เปลี่ยนจากปัญหาไม่เชิงเส้นซึ่งมีตัวแปร n ค่า m อสมการข้อจำกัด ไปอยู่ในรูปของปัญหาเชิงเส้นซึ่งมีตัวแปร $\sum_{j=1}^{n}(t_j+1)$ ค่า (m+n) อสมการข้อจำกัด และ n เงื่อนไขของการอยู่ต่อเนื่องกัน การแก้ปัญหาใช้วิธีซิมเพล็กซึ่งจะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดโดยประมาณ

การหาคำตอบของปัญหาไม่เชิงเส้นตรงโดยวิธีเกรเดียน (Gradient Method)

วิธีเกรเดียน เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมสูงในการใช้หาคำตอบในปัญหาความเหมาะสม (Optimization) วิธีเกรเดียนที่ให้คำตอบเร็วที่สุดเรียกว่าวิธี Hill Climbing เป็นวิธีที่หาคำตอบโดยปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรคำตอบจากจุดเริ่มต้นในทิศทางที่ให้ค่า เกรเดียน หรือสมการเป้าหมายสูงสุด สามารถเขียนปัญหาในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

กำหนดให้ $y(\vec{x})$ เป็นสมการเป้าหมาย ต้องการหาค่า $\vec{x}$ ที่ ให้ $y(\vec{x})$ มีค่าสูงสุด โดยที่การเปลี่ยนค่า x ตามเส้นทาง s มีค่าสูงสุด (Maximum Gradient)

$$y = y(\vec{x}) \tag{2.37}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\frac{dy}{dx}=\Sigma\frac{\partial y}{\partial x_i}\cdot\frac{dx_i}{ds} \tag{2.38}$$

และ $$(ds)^2=\Sigma(dx_i)^2 \tag{2.39}$$

หรือ $$\Sigma\frac{(dx_i)^2}{(ds)^2}=1 \tag{2.40}$$

ซึ่งสามารถเขียนปัญหา Steepest Gradient Method ได้ว่า

$$\text{Max}\frac{dy}{dx}\quad\text{Subjected to Constraint} \tag{2.41}$$

$$\Sigma\frac{(dx_i)^2}{(ds)^2}=1 \tag{2.42}$$

โดยการประยุกต์เทคนิคของ Lagrange multiplier สามารถพิสูจน์ได้ว่า ค่า dy/ds มีค่าสูงสุดเมื่อ

$$\frac{dx_i}{ds}=\left\{\Sigma\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)^2\right\}^{1/2}\frac{\partial y}{\partial x_i} \tag{2.43}$$

และค่า x_i ที่เหมาะสมตามแนวเส้น Steepest Gradient หาได้จาก

$$x_{k+1}=x_k+\nabla y\Delta\tau \tag{2.44}$$

เมื่อ x_{k+1} เป็นค่า x ชุดต่อไป

x_k คือค่า x ปัจจุบัน

∇y คือค่า Gradient ของ $y(\vec{x})$

$\Delta\tau$ คือค่า Scalar ขนาดเล็กพอเพียง(จากการทดสอบ)

ง. Genetic Algorithms

เจนเนติกอัลกอริทึมเป็นเทคนิควิธีการหาคำตอบของปัญหาอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ได้กับปัญหาเชิงเส้นตรง และไม่เชิงเส้นตรง โดยใช้หลักทางด้านสถิติซึ่งอยู่บนพื้นฐานของวิธีการคัดเลือกเพื่อความอยู่รอด และการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติที่ได้มาจากทฤษฎีของดาร์วิน ที่เกี่ยวกับวิวัฒนาการของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สิ่งมีชีวิต ซึ่งมีวิธีการคือ จะเริ่มจากการสร้างชุดคำตอบปัญหาเริ่มต้นโดยการสุ่มที่เรียกว่า ประชากร (population) และประชากรแต่ละตัวจะเรียกว่า โครโมโซม (chromosome) ซึ่งโดยปกติแล้ว โครโมโซมจะเป็นลักษณะของรหัสต่างๆ ซึ่งแต่ละตำแหน่งที่แทนค่ารหัสภายในโครโมโซมจะเรียกว่า ยีน (gene) และโครโมโซมเหล่านี้จะถูกทำให้ผ่านการวิวัฒนาการไปในแต่ละรุ่น (generation) ทำให้ได้โครโมโซมที่มีการพัฒนาขึ้นเรื่อยๆจนได้เป็นโครโมโซมที่ดีที่สุดซึ่งเป็นคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหานั่นเอง

โครโมโซมที่ดี คือ โครโมโซมที่เหมาะสมที่จะเป็นคำตอบของปัญหา เช่น หากกำหนดสมการค่าความเหมาะสมให้ค่าศูนย์เป็นค่าคำตอบที่ดีที่สุด และค่าจำนวนจริงบวกมากเป็นคำตอบที่แย่ลงตามลำดับ จะเห็นได้ว่าโครโมโซมที่ดีคือโครโมโซมที่มีค่าเป็นจำนวนจริงบวกที่เข้าใกล้ค่าศูนย์นั่นเอง และหากโครโมโซมมีค่าความเหมาะสมเท่ากับศูนย์ก็คือโครโมโซมที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นเป้าหมายของการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดของเจนเนติกอัลกอริทึมนั่นเอง

โครโมโซมต่างๆของประชากรจะถูกถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของแต่ละตัวไปสู่โครโมโซมรุ่นลูก โดยผ่านกระบวนการทางเจนเนติกอัลกอริทึม 2 แบบ ได้แก่ การครอสโอเวอร์ (crossover) และการมิวเตชัน(mutation) ซึ่งกระบวนการทั้งสองนี้จะช่วยทำให้โครโมโซมรุ่นลูกที่ได้มีลักษณะเปลี่ยนไปจากเดิม ซึ่งอาจได้ทั้งโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมดีขึ้นหรือแย่ลง โดยโครโมโซมรุ่นลูกเหล่านี้จะถูกนำไปผ่านการคัดเลือก (selection) ทำให้โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีมีโอกาสอยู่รอดไปเป็นประชากรรุ่นต่อไป ส่วนโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมแย่จะถูกกำจัดออกไป เมื่อผ่านกระบวนการวิวัฒนาการของเจนเนติกอัลกอริทึมไปเรื่อยๆ จะได้โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมดีขึ้น จนได้เป็นโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่เป็นคำตอบของการแก้ปัญหาในที่สุด

การแก้ปัญหาโดยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมประกอบด้วยกระบวนการดังนี้

1. การเข้ารหัสโครโมโซม(representation) คือ การเข้ารหัสจากคำตอบของปัญหาไปเป็นรหัสที่สามารถใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหานั้นๆได้ โดยประชากรแต่ละตัวเรียกว่าโครโมโซม โดยในโครโมโซมจะประกอบด้วยยีนต่างๆซึ่งถูกเข้ารหัสโดยแทนด้วยชุดของตัวเลขที่มีลักษณะเป็นสาย (string) โครโมโซมเหล่านี้มีรูปแบบของการจัดเรียงยีนภายในที่ต่างกันออกไป ทำให้มีค่าความเหมาะสมแตกต่างกันออกไป วิธีการเข้ารหัสที่นิยมใช้คือการเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง (binary) โดยทุกๆโครโมโซมจะแทนด้วยสายของบิตที่มีค่า 0 หรือ 1 ดังรูปที่ 2.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โครโมโซม A	10110010110010101110 01
โครโมโซม B	11111110000011000001 11

รูป 2.3 ตัวอย่างการเข้ารหัสของโครโมโซมแบบเลขฐานสอง

2. สมการเป้าหมาย (objective function) และ สมการค่าความเหมาะสม (fitness function) สมการเป้าหมาย คือ สมการที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการวัดว่าโครโมโซมแต่ละตัวนั้นสมควรที่จะเป็นคำตอบของปัญหามากเพียงใด สำหรับสมการค่าความเหมาะสมจะถูกใช้ในขั้นตอนการเลือกเท่านั้น โดยสมการค่าความเหมาะสมนั้นสามารถหาได้จากสมการเป้าหมายนั่นเอง ดังนั้นในบางงานวิจัยจึงนิยมใช้สมการเป้าหมายเป็นสมการค่าความเหมาะสมด้วย แต่ข้อแตกต่างระหว่างสมการเป้าหมายและสมการค่าความเหมาะสมคือ สมการเป้าหมายจะใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบว่าโครโมโซมแต่ละตัวเป็นคำตอบที่ดีที่สุดหรือไม่ ดังนั้นในทุกรอบของการทำงานจึงต้องใช้สมการเป้าหมายเดียวกันเท่านั้นเพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบได้ว่าโครโมโซมในประชากรรุ่นใหม่ดีหรือแย่กว่าประชากรรุ่นก่อน แต่สมการค่าความเหมาะสมเป็นฟังก์ชันใช้ในการกำหนดโอกาสในการถูกเลือกในขั้นตอนการเลือกเท่านั้น เช่นอาจกำหนดความกดดันในการเลือกโครโมโซมไปเป็นประชากรรุ่นต่อไปในรุ่นแรกมีความกดดันต่ำเพื่อให้โครโมโซมที่ยังมีค่าสมการเป้าหมายไม่ดียังพอสามารถอยู่รอดในประชากรรุ่นถัดไปได้ เพราะในบางครั้งอาจมีส่วนที่ดีแฝงอยู่ในโครโมโซมเหล่านั้นได้ และจะเพิ่มความกดดันในการเลือกเมื่อผ่านจำนวนรอบการทำงานมากขึ้น จึงสามารถเปลี่ยนรูปแบบหรือหรือค่าพารามิเตอร์บางตัวในสมการค่าความเหมาะสมได้ ดังนั้นสมการค่าความเหมาะสมในแต่ละรุ่นจึงไม่จำเป็นต้องมีค่าเท่ากัน ตัวอย่างการแก้ปัญหา เช่น ต้องการหาค่า x ที่ทำให้ค่า y ในสมการ (2.45) มีค่ามากที่สุด

$$y = 21.5 + x_1 \sin(4\pi x_1) + x_2 \sin(20\pi x_2) \tag{2.45}$$

สมการนี้คือสมการเป้าหมายโดยมีค่า x_1 และ x_2 เป็นตัวแปรอิสระ และค่า y เป็นตัวแปรตาม โดยคำตอบของปัญหาที่ต้องการคือ ต้องการทราบค่า x_1 และค่า x_2 ที่ทำให้ค่า y มีค่ามากที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าค่า y มีค่ามากก็จะเป็นคำตอบที่ดี และค่า y น้อยจะเป็นคำตอบที่ไม่ดีนั่นเอง

สำหรับการหาค่าความเหมาะสมนั้นอาจกำหนดให้ใช้สมการ (38)

$$\text{Fitness} = \left(21.5 + x_1 \sin(4\pi x_1) + x_2 \sin(20\pi x_2)\right)^{\text{generation}/10} \tag{2.46}$$

เมื่อ Fitness คือ ค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม และGeneration คือ จำนวนรุ่นการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากสมการ (2.46) จะเห็นว่า ในรุ่นแรกๆค่าความเหมาะสมจะถูกยกกำลังด้วยค่า generation/10 ซึ่งทำให้ค่าความเหมาะสมถูกปรับให้มีค่าเข้าใกล้ 1 และเมื่อถึงจำนวนรอบที่ 10 สมการค่าความเหมาะสมจะมีค่าเหมือนสมการเป้าหมาย และเมื่อจำนวนรอบการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึมมากขึ้นจะเพิ่มความกดดันในการเลือกสูงขึ้น

3. การครอสโอเวอร์(crossover) เป็นกระบวนการทางพันธุศาสตร์ที่สำคัญของวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม ซึ่งมีวิธีการคือ จะคัดเลือกยีนจากโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ 2 ตัวแลกเปลี่ยนยีนกัน ซึ่งจะทำให้ได้โครโมโซมรุ่นลูก (offspring) 2 ตัวที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนยีนของรุ่นพ่อแม่นั่นเอง โดยจะสุ่มจุดที่ต้องการทำ ครอสโอเวอร์ 1จุด หรือมากว่า จากนั้นจึงนำยีนของโครโมโซมรุ่นพ่อแม่มาแลกเปลี่ยนกัน โครโมโซมรุ่นลูกที่ได้จะมียีนที่ได้จากโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ตัวแรกก่อนจุดตัดรวมกับยีนหลังจุดตัดของโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ตัวที่สอง ดังรูป 2.4

0100110 | 00101000 ⟶ 01001101 10000101

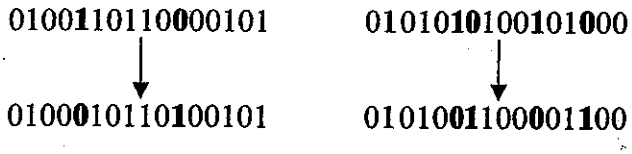
0101010 | 10000101 ⟶ 01010101 00101000

รูป 2.4 แสดงการครอสโอเวอร์แบบ 1 จุดตัด ที่มา : Man et al. (1998)

อัตราการครอสโอเวอร์ (p_c) คืออัตราส่วนของจำนวนโครโมโซม รุ่นลูกที่เกิดขึ้นในแต่รุ่นต่อจำนวนของประชากร(pop_size) ดังนั้นจึงคาดได้ว่าน่าจะมีจำนวนโครโมโซมที่เกิดจากการครอสโอเวอร์ เท่ากับ $p_c \times$pop_size โดยทั่วไปอัตราการครอสโอเวอร์ควรจะสูง ประมาณ 80-95 %

4. การมิวเตชัน (mutation) เป็นกระบวนการที่เลียนแบบวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต โดยมีแนวคิดคล้ายกับการกลายพันธุ์ กล่าวคือ การมิวเตชันคือการสุ่มโครโมโซมจากประชากรรุ่นพ่อแม่ขึ้นมาจากนั้นจึงเปลี่ยนแปลงค่ายีน ณ ตำแหน่งหนึ่งๆภายในโครโมโซมที่ถูกเลือกมานั้น เป็นผลให้โครโมโซมตัวนี้มีลักษณะที่เปลี่ยนไปจากเดิมได้เป็นโครโมโซมรุ่นลูกซึ่งมีค่าความเหมาะสมที่เปลี่ยนไปจากเดิม เช่น การมิวเตชันแบบกลับบิต (bit inversion) ใช้กับการเข้ารหัสแบบเลขฐานสองโดยจะสุ่มเลือกบิต (หรือยีน) ที่ต้องการทำมิวเตชัน จากนั้นทำการกลับบิต ดังรูป 2.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

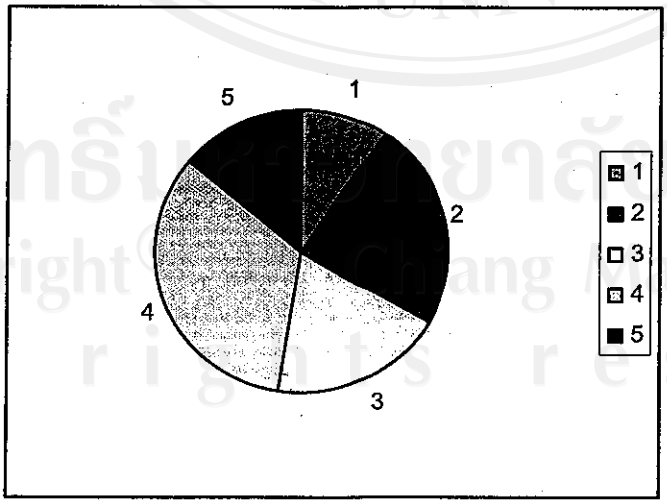


รูป 2.5 แสดงการมิวเตชัน ที่มา : Man et al. (1998)

อัตราการมิวเตชัน (p_m) คือจำนวนยีนทั้งหมดในประชากรที่จะเกิดการมิวเตชันโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปอัตราการมิวเตชันควรจะต่ำ ประมาณ 0.5-1 %

5. การเลือก (Selection) เมื่อได้โครโมโซมรุ่นลูกจากการครอสโอเวอร์และมิวเตชันแล้วต่อไปจึงใช้การคัดเลือกเพื่อหาโครโมโซมที่จะมาเป็นประชากรรุ่นต่อไปโดยอาศัยกฎของการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต คือ โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงกว่าจะมีโอกาสถูกคัดเลือกไปเป็นประชากรรุ่นต่อไปได้มากกว่า และในทำนองเดียวกันโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมต่ำกว่าก็จะมีโอกาสที่จะถูกกำจัดออกไปจากประชากรรุ่นต่อๆไปในที่สุด

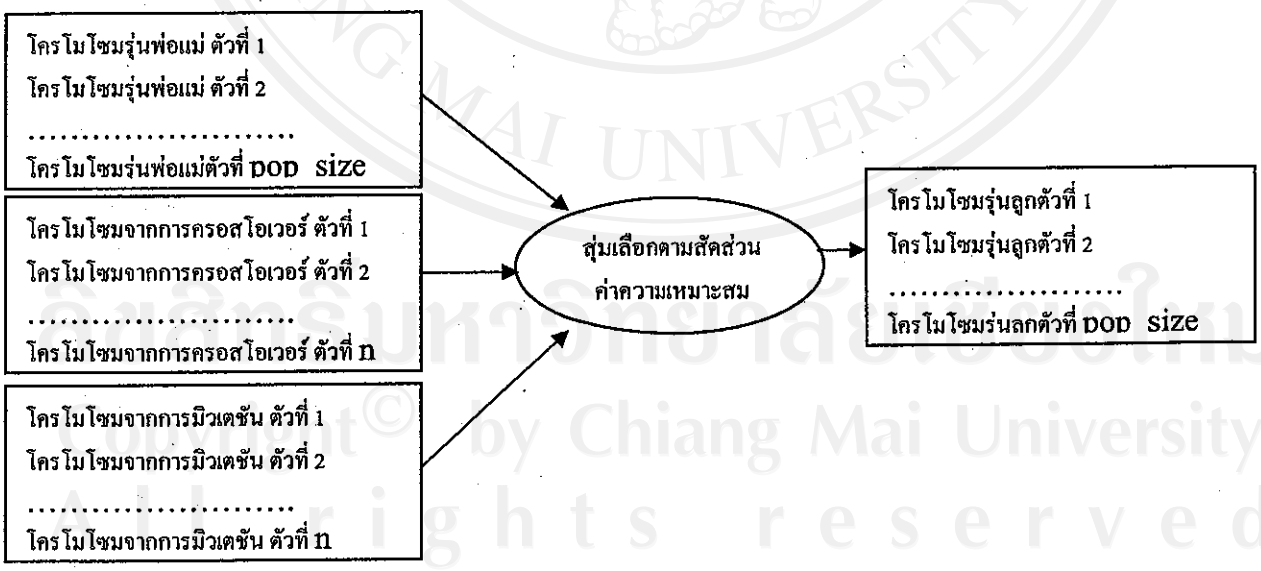
วิธีการเลือกที่นิยมใช้กันทั่วไปคือการเลือกแบบหมุนกงล้อ(roulette wheel selection) ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งเปรียบได้กับการหมุนกงล้อ โดยกงล้อจะถูกแบ่งเป็นช่องต่างๆซึ่งคือโครโมโซมต่างๆที่ถูกเลือก โดยโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่สูงจะมีช่องหรือโอกาสที่จะถูกเลือกได้มาก (จากรูป โครโมโซมที่ 4 เป็นโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงที่สุด รองลงมาคือโครโมโซมที่ 2 , 3 , 5 , 1 ตามลำดับ) จากนั้นจึงหมุนกงล้อเพื่อสุ่มว่าเมื่อกงล้อหยุดจะชี้หรือเลือกไปยังโครโมโซมใด และเมื่อหมุนกงล้อครบตามจำนวนประชากรก็จะได้โครโมโซมที่เป็นประชากรรุ่นต่อไป ซึ่งการเลือกแบบหมุนกงล้อนี้เรียกได้ว่าเป็นการเลือกแบบสุ่มตามสัดส่วนของค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมนั่นเอง



รูป 2.6 การเลือกแบบหมุนกงล้อ ที่มา : Man et al. (1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

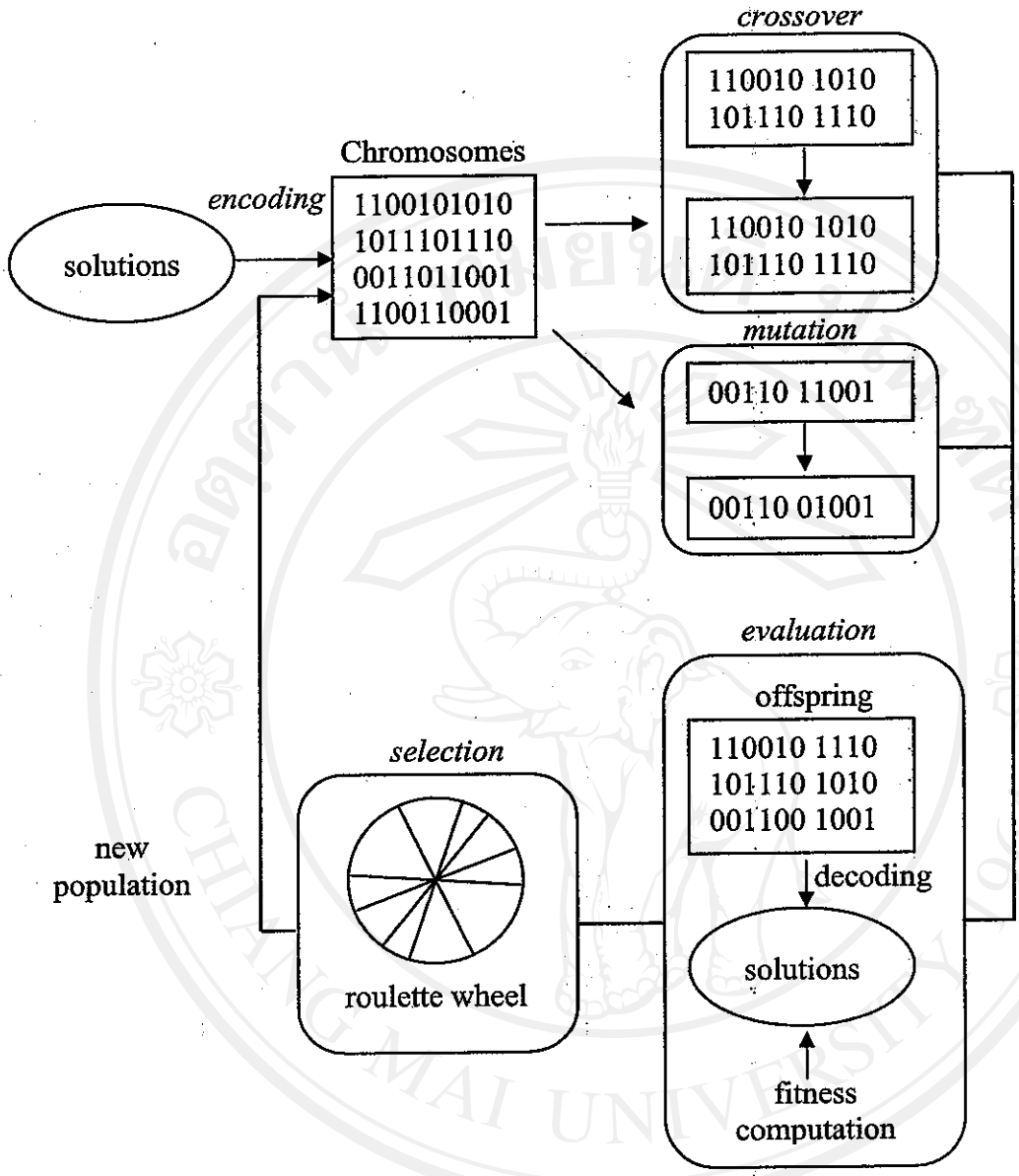
การเลือกแบบนี้จะสุ่มเลือกโครโมโซมจากโครโมโซมของประชากรในรุ่นพ่อแม่และโครโมโซมรุ่นลูกที่ได้จากการครอสโอเวอร์และมิวเตชัน ซึ่งเหตุผลที่ไม่สุ่มเลือกเฉพาะโครโมโซมรุ่นลูกโดยตรงเพื่อเป็นการป้องกันการสูญหาย (สูญพันธุ์) ของโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีในประชากรรุ่นพ่อแม่ด้วย ตัวอย่างการเลือกโครโมโซมไปเป็นประชากรรุ่นต่อไปแสดงดังรูป 2.7 โครงสร้างการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึมจะเริ่มต้นจากการสุ่มประชากรเริ่มต้นขึ้นเป็นประชากรในรุ่นพ่อแม่รุ่นแรก จากนั้นจึงนำประชากรเหล่านี้มาหาค่าความเหมาะสมก่อนและเก็บค่าคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมดีที่สุดไว้เป็นคำตอบของปัญหา จากนั้นจึงนำประชากรรุ่นพ่อแม่นี้มาผ่านกระบวนการครอสโอเวอร์และมิวเตชันซึ่งจะทำให้ได้โครโมโซมรุ่นลูกเกิดขึ้น จากนั้นจึงนำโครโมโซมรุ่นลูกที่ได้นี้รวมทั้งโครโมโซมในรุ่นพ่อแม่ทั้งหมดมาผ่านการเลือกตามสัดส่วนของค่าความเหมาะสม โดยโครโมโซมตัวใดที่มีค่าความเหมาะสมที่สูงก็จะมีโอกาสถูกคัดเลือกไปเป็นประชากรในรุ่นต่อไปได้มากกว่าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมต่ำ โดยโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงก็จะมีโอกาสถูกคัดเลือกไปเป็นประชากรในรุ่นต่อไปได้มากกว่า 1 ครั้ง และในทำนองเดียวกันโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมต่ำอาจจะไม่ถูกเลือกไปเป็นประชากรรุ่นต่อไปเลย ทั้งหมดนี้เรียกว่าเป็นวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมครบ 1 รอบ (หรือ 1 รุ่น) จากนั้นจึงนำประชากรรุ่นใหม่ที่ได้นี้ไปหาค่าความเหมาะสมผ่านกระบวนการครอสโอเวอร์ มิวเตชัน และการเลือกต่อไปจนกว่าจะพบโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมดีที่สุดจึงหยุดการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึม โดยโครงสร้างการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึมแสดงได้ดังรูป 2.8



รูป 2.7 ตัวอย่างการเลือกโครโมโซมไปเป็นประชากรรุ่นถัดไป

ที่มา : ธานินทร์ เอื้อรักสกุล (2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.8 โครงสร้างทั่วไปของเจนเนติกอัลกอริทึม

ที่มา : Gen and Cheng (1997)

2.2.3 ระบบช่วยการตัดสินใจ DSS (Decision Support System)

นิยามของระบบช่วยการตัดสินใจ

Scott Morton (1971) ให้คำนิยามของระบบช่วยการตัดสินใจว่า หมายถึงระบบที่มีการทำงานร่วมกับระบบคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยให้ผู้ตัดสินใจสามารถนำข้อมูล และโมเดลต่างๆมาใช้ในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Keen and Scott (1978) กล่าวว่าระบบช่วยตัดสินใจ คือระบบที่เชื่อมโยงกันระหว่างทรัพยากรของสมองมนุษย์ให้ทำงานร่วมกับความสามารถของคอมพิวเตอร์ เพื่อการปรับปรุงคุณภาพของการตัดสินใจให้ดีที่สุด

กิตติ ภักดีวัฒนกุล (2546) กล่าวถึงโครงสร้างของระบบช่วยการตัดสินใจว่าประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

1. ส่วนจัดการฐานข้อมูล (data management) คือข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจ ซึ่งอาจเป็นข้อความ ตัวเลข ตัวหนังสือ ข้อมูลภาพกราฟิก หรือข้อมูลเสียงก็ได้

2. ส่วนการจัดการแบบจำลอง (model management) คือการใช้สูตรคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณหาทางเลือกที่ดีที่สุดโดยใช้อัลกอริทึม

3. ส่วนการจัดการสื่อประสานกับผู้ใช้ (user interface management) คือ สื่อกลางในการติดต่อและโต้ตอบระหว่างผู้ใช้กับระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้แก่การติดต่อทางฮาร์ดแวร์ เช่น เมาส์ คีย์บอร์ด ลำโพง เครื่องพิมพ์ เป็นต้น หรือการติดต่อทางซอฟแวร์ เช่น การแสดงผลทางจอภาพ และทำให้เกิดการปฏิสัมพันธ์กัน

4. ส่วนการจัดการองค์ความรู้ (knowledge management) คือข้อมูลที่ผ่านการจัดเก็บประมวลผล และจัดการให้มีความถูกต้อง ทันสมัย ที่สามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหา หรือการตัดสินใจ

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 การคัดเลือกโครงการบำรุงทางหลวงของหน่วยงานทางในประเทศไทย

เทียนโชติ จงพีร์เพียร และ สุรชัย ศรีเลนวัติ (2543) กล่าวว่าในปัจจุบันกรมทางหลวงจะจัดสรรงบประมาณบำรุงทางโดยอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลความเสียหายตามระบบบริหารงานบำรุงทาง(Thailand Pavement Management System Budgeting Module , TPMS Budgeting Module) ซึ่งกองบำรุงทางได้นำระบบนี้มาใช้ในทุกสำนักทางหลวงตั้งแต่ปี 2537 โดยจะมีหน่วยสำรวจสนามเก็บข้อมูลลักษณะทาง (road inventory) เช่นความยาวถนนแต่ละช่วงย่อย ความกว้างผิวทาง ชนิดพื้นทาง ปริมาณจราจร และ ข้อมูลสภาพทาง (road condition) เช่น ความเสียหายของทาง ความขรุขระ (roughness) ความสามารถของถนนในการรับน้ำหนักบรรทุก (structural condition) ความฝืดของผิวทาง มาใช้ในการวิเคราะห์หาวิธีการซ่อมบำรุงทางที่เหมาะสมทางเศรษฐกิจที่จะทำให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (total transport cost) ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่วิเคราะห์ อันได้แก่ ค่าก่อสร้าง ค่าบำรุงทาง ค่าใช้จ่ายในการใช้รถ(ประกอบด้วย ค่าน้ำมัน ค่ายาง ค่าบำรุงรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รถ ค่าเวลาในการเดินทาง และค่าโสหุ้ยอื่นๆ)มีค่าน้อยที่สุด โดยใช้งานร่วมกับโปรแกรม HDM 3 ซึ่งใช้ในการทำนายพฤติกรรมของถนน

ระบบ TPMS Budgeting Module จะแนะนำวิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมที่สุด (optimum treatment) โดยแสดงค่า Benefit to Cost Ratio (B/C) และค่า Net Present Value (NPV) ของแต่ละช่วงย่อย ขณะเดียวกันได้แนะนำวิธีการซ่อมบำรุงวิธีอื่น ซึ่งให้ผลตอบแทนน้อยกว่าลดหลั่นกันไปอีก 2-4 วิธี ให้ผู้ใช้สามารถเลือกวิธีการที่ดีและเหมาะสมกับการปฏิบัติงานที่สุดได้

2.3.2 การกำหนดเป้าหมายในการบำรุงทาง

ธวัชัย เหล่าศิริหงส์ทอง และ อัญชลี เจนพานิชทรัพย์ (2545) ศึกษารวบรวมปัจจัยและวิธีการ รวมทั้งเงื่อนไขที่ใช้ในการตัดสินใจจัดลำดับโครงการทางหลวงขนาดใหญ่ และทำการพัฒนาระบบช่วยตัดสินใจ โดยใช้การสอบถามกลุ่มนักวิชาการและผู้มีส่วนร่วมในกระบวนการตัดสินใจ

จากการศึกษาพบว่า วิธีการจัดลำดับโครงการทางหลวงสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือวิธีเชิงคุณภาพซึ่งใช้ประสบการณ์หรือดุลยพินิจของผู้ตัดสินใจเป็นหลัก และวิธีเชิงปริมาณซึ่งใช้ข้อมูลเชิงปริมาณของทางเลือกที่สามารถระบุค่าได้ ซึ่งทั้งสองวิธีการมีการใช้ปัจจัยประกอบการตัดสินใจหลายปัจจัย โดยสามารถแบ่งกลุ่มปัจจัยได้ 7 กลุ่มหลัก คือ การเมือง เศรษฐกิจและการเงิน วิศวกรรม การจราจรและการขนส่ง ผลกระทบสิ่งแวดล้อม การใช้ที่ดิน และสังคม

สำหรับในปัจจุบันพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการจัดลำดับความสำคัญมาก คือ การเมือง เศรษฐกิจและการเงิน และผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตามลำดับ ส่วนในอนาคตการจัดลำดับโครงการฯ ควรใช้วิธีการเชิงปริมาณเป็นหลัก และควรใช้ปัจจัยทั้ง 7 กลุ่มหลัก ข้างต้น โดยควรให้ความสำคัญกับปัจจัยเศรษฐกิจและการเงินสูงสุด และด้านการเมืองต่ำสุด

Willis (1998) ศึกษาเป้าหมายในการก่อสร้างทางหลวงสายใหม่ และบำรุงทางหลวงของประเทศอังกฤษในปัจจุบัน พบว่าจะมีการตั้งเป้าหมายในเชิงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งวิเคราะห์ได้จากผลประโยชน์ในรูปตัวเงินที่ได้รับจาก การประหยัดเวลาในการเดินทาง ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้รถที่ลดลง และความปลอดภัยจากอุบัติเหตุ ซึ่งละเลยเป้าหมายที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้ที่ดิน และสิ่งแวดล้อม จึงมักจะถูกต่อต้านจากเจ้าของที่ดินที่ถูกเวนคืน และนักอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

จึงได้มีการศึกษาถึงเป้าหมายเพิ่มเติมจากเป้าหมายในเชิงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่มีอยู่ พบว่าเป้าหมายหรือตัวแปรที่ควรคำนึงถึงเพิ่มเติมในการวิเคราะห์หาเส้นทางที่เหมาะสมในการก่อสร้าง หรือบำรุงทาง ได้แก่ มลภาวะทางเสียง มลพิษทางอากาศ ผลกระทบต่อทัศนียภาพ และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลกระทบต่อป่าสงวนและสัตว์ป่า เป็นต้น ซึ่งการประเมินค่าผลกระทบดังกล่าวจะใช้วิธีการสำรวจข้อมูลจากผู้ได้รับผลกระทบ แล้ววิเคราะห์โดยวิธี Stated Preference และ วิธี Contingent Ranking

Salvatore et al. (2002) ศึกษาการวางแผนการลงทุนด้านบำรุงรักษาและบูรณะถนนของโปรแกรม HDM-4 พบว่าจะใช้หลักเกณฑ์เชิงเศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์ (เช่น NPV เป็นต้น) ซึ่งมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์คุณลักษณะของโครงการที่ไม่สามารถคำนวณออกมาเป็นตัวเงินได้ จึงนำเอาโมเดล Multiple Criteria Analysis (MCA) ซึ่งใช้หลักการของ AHP และ ELECTRE (Elimination et Choix Tradusant la Realite) โดยนำมาวิเคราะห์ควบคู่กับโปรแกรม HDM-4

จากการนำเอาโมเดลดังกล่าวมาใช้ในการวางแผนบำรุงทางโดยการกำหนดเกณฑ์ (criteria) แบ่งเป็น Comfort, Environment, Safety, Road Agency Cost และ Road User Cost ภายใต้งบประมาณที่มีอยู่จำกัด ผลปรากฏว่าการกระจายของงบประมาณเป็นไปอย่างทั่วถึงมากกว่าการใช้โปรแกรม HDM-4 เพียงอย่างเดียวที่มักจะจัดสรรเงินให้แก่ถนนสายหลักที่มีปริมาณการจราจรสูงๆเสียส่วนใหญ่

Feng et al. (2003) ระบบการจัดการผิวทาง (PMS) ที่ใช้ทั่วไปจะช่วยผู้ตัดสินใจเลือกแผนการบำรุงทางที่ดีที่สุดเพื่อหาวิธีการบำรุงทาง(treatment)และสายทางที่เหมาะสมภายในระยะเวลาตามแผนบำรุงทาง ซึ่งได้มีการนำเอาโมเดล Integer linear programming มาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการดังกล่าวภายในระยะเวลาตามแผน 5 ปี โดยกำหนดสมการเป้าหมายจำนวน 2 สมการ คือ ประสิทธิผลรวมของการบำรุงทางที่มากที่สุด ซึ่งมีตัวชี้วัดคือCondition score point ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาพของถนน และค่าใช้จ่ายรวมของการบำรุงทางในช่วงเวลา 5 ปีน้อยที่สุด มีข้อจำกัด (constraints) คือ งบประมาณแต่ละปี และ สภาพถนนที่ยอมรับได้ (minimum requirement condition)

เมื่อใช้โมเดลทำการวางแผนฯกับโครงการจำนวน 10 โครงการ เพื่อทดสอบว่าการเพิ่มขึ้นของงบประมาณบำรุงทางในแต่ละปีจะมีผลอย่างไรต่อการวางแผนบำรุงทาง พบว่า ประสิทธิผลรวมของการบำรุงทางจะเพิ่มมากขึ้นและมีแนวโน้มว่าจะเลือกวิธีการบำรุงทางที่แพงขึ้นเมื่อได้รับงบประมาณเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของงบประมาณบำรุงทางไม่มีผลมากนักต่อสมการเป้าหมายค่าใช้จ่ายรวมของการบำรุงทางในช่วงเวลา 5 ปีน้อยที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Niemeier et al. (1995) ศึกษาโมเดลช่วยการตัดสินใจเลือกโครงการบำรุงทางหลวงที่เหมาะสมตอบสนองต่อเป้าหมายภายใต้งบประมาณที่จำกัดและไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดยกำหนดเป้าหมายว่าต้องได้รับผลประโยชน์รวมของโครงการบำรุงทางมากที่สุด ซึ่งผลประโยชน์จะประเมินจากปัจจัยตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่ใช้อยู่โดย Washington State's Department of Transportation ได้แก่ การลดเวลาการเดินทาง จำนวนผู้ใช้ทางที่เพิ่มขึ้น จำนวนสินค้าที่ขนส่งได้มากขึ้น การลดค่าใช้จ่ายของผู้ขับขี่ และการลดลงของอุบัติเหตุ

การเลือกโครงการจะเลือกตามการเรียงลำดับ (ranking) ตามค่า Priority Index ซึ่งคำนวณโดยวิธี TOPSIS แต่พบว่ายังไม่สามารถตอบสนองต่อเป้าหมาย (objective) ได้ดีเท่าที่ควรจึงมีการนำเอาเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเส้น (linear programming) และการวิเคราะห์เชิงเป้าหมาย (goal programming) มาใช้ประยุกต์ใช้ร่วมกับ วิธี TOPSIS ในการเลือกโครงการที่สามารถตอบสนองต่อเป้าหมาย (objective) ได้ดี โดยไม่จำเป็นต้องเลือกโครงการที่มีค่า Priority Index สูงเสมอไป โดยการวิเคราะห์เชิงเส้น และการวิเคราะห์เชิงเป้าหมายดังกล่าว ยังแยกออกเป็นการวิเคราะห์แบบจำนวนเต็ม (integer) และแบบต่อเนื่อง (continuous)

ผลการศึกษาสรุปว่าเมื่อนำเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเส้น (linear programming) และการวิเคราะห์เชิงเป้าหมาย (goal programming) มาประยุกต์ใช้จะได้ผลประโยชน์รวมของโครงการบำรุงทาง สูงกว่าการคัดเลือกโดยวิธี TOPSIS เพียงอย่างเดียว และผลการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและ เชิงเป้าหมายให้ผลไม่ต่างกันนัก สำหรับการประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์พบว่าการวิเคราะห์แบบจำนวนเต็ม(integer) จะประมวลผลช้ากว่าแบบต่อเนื่อง (continuous) ประมาณ 2-3 เท่า

2.3.3 การหาคำตอบของปัญหา

Ahmed (1982) ในการวิเคราะห์เพื่อเลือกวิธีการบำรุงทางที่เหมาะสมพร้อมกับการพิจารณาว่าโครงการใดบ้างที่สมควรจะถูกเลือกภายใต้งบประมาณที่ไม่เพียงพอนั้น ที่ผ่านมาจะใช้การวิเคราะห์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้หลักการวิธีทางคณิตศาสตร์ของ 0-1 Integer Linear Programming โครงการที่ถูกเลือกและไม่ถูกเลือกจะถูกแทนค่าด้วย 1 และ 0 ตามลำดับ โดยกำหนดสมการเป้าหมายคือการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงและเลือกกลุ่มโครงการที่เหมาะสม (optimum) ที่ทำให้ผลประโยชน์ (profit) รวมมีค่ามากที่สุดภายใต้ทรัพยากร(เงินงบประมาณ แรงงาน และเครื่องมือ) ที่มีอยู่อย่างจำกัด แต่ในกรณีที่จำนวนโครงการ และวิธีการซ่อมบำรุงมีจำนวนมากการใช้วิธีการ 0-1 Integer Linear Programming จะเสียเวลาในการคำนวณอย่างมาก จึงได้มีการประยุกต์การวิเคราะห์โดยวิธี effective gradient มาใช้ร่วมกับ 0-1 Integer Linear Programming พัฒนาเป็นเครื่องมือตัดสินใจโดยใช้โปรแกรม FORTRAN 4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อทดสอบโปรแกรมแก้ปัญหาที่มีจำนวนโครงการจำนวน 10 โครงการ จำนวนตัวแปร 50 ตัวแปร ผลปรากฏว่าคอมพิวเตอร์ใช้เวลาการคำนวณไม่เกิน 2 วินาที แต่หากใช้การวิเคราะห์โดยวิธี 0-1 Integer Linear Programming เพียงอย่างเดียวจะใช้เวลาถึง 60 วินาที ในขณะที่ผลการวิเคราะห์ที่ได้ทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกัน

Liu et al. (1997) ในประเทศญี่ปุ่นมีสะพานจำนวนมากที่ต้องการการบำรุงรักษา แต่ภายใต้งบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัดจึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือช่วยในการวางแผนการซ่อมบำรุงระดับโครงข่าย(Network level)ในระยะยาวที่เหมาะสมโดยเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ภายในระยะเวลาตามแผนที่กำหนด(planning period) โดยที่สะพานจะต้องมีค่าความชำรุดไม่เกินค่าที่ยอมให้ได้ จึงได้มีการนำเอาหลักการของ Genetic Algorithms (GA) มาใช้ในการพัฒนาเครื่องมือดังกล่าว โดยกำหนดสมการเป้าหมายคือ ผลรวมระหว่างค่าซ่อมบำรุง (cost) และค่า Penalty cost ซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีที่ความชำรุดบกพร่องของสะพานมีค่าเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้

จากการนำเรื่องมือดังกล่าวไปทดลองใช้กับการวางแผนซ่อมบำรุงพื้นสะพานจำนวน 287 โครงการที่เมืองนาโกยา ปรากฏว่า การตั้งค่าพารามิเตอร์ให้กับ GA ที่ จำนวนประชากร 50, crossover probability 80%, และ mutation probability 0.1 % จะให้ผลการคำนวณ และเวลาที่ใช้ในการคำนวณในระดับที่ดีที่สุด

Fwa et al. (1995) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เรียกว่า PAVENET-R เพื่อช่วยในการวางแผนซ่อมบำรุงทางช่วงโครงการใดๆ(segments) โดยคัดเลือกวิธีการบำรุงทางที่เหมาะสมจากวิธีการบำรุงทางทั้งหมดจำนวน 9 วิธี ภายในระยะเวลาแผนบำรุง 5 ปี โดยใช้หลักการของเจนเนติกอัลกอริทึม โดยเข้ารหัสยีนเป็นเลขจำนวนเต็ม ตั้งแต่ 0-8 ซึ่งเท่ากับจำนวนวิธีการซ่อมบำรุง และ 1 โครโมโซมประกอบด้วยยีน 5 ตัวซึ่งเท่ากับจำนวนปีที่ต้องการวางแผน สมการเป้าหมายคือ วางแผนบำรุงทางในช่วงระยะเวลาที่กำหนดเพื่อให้ค่าใช้จ่าย (ทั้งของผู้ใช้รถและค่าซ่อมบำรุง) เวลาปัจจุบันต่ำที่สุด (minimum present worth of cost) โดยมีข้อแม้ว่าถนนต้องได้รับการซ่อมบำรุงก่อนที่สภาพของถนนจะชำรุดเกินกว่าระดับที่ยอมรับได้ (warning Level) ซึ่งความชำรุดของถนนจะได้จากโมเดลทำนายการเสื่อมสภาพของถนน

เมื่อนำโปรแกรมดังกล่าวมาทดลองวางแผนซ่อมบำรุงถนนจำนวน 30 โครงการ (segments) พบว่าผลลัพธ์ที่ได้ก็คือโปรแกรม PAVENET-R จะแสดงแผนการบำรุงทางออกมาเป็นรายละเอียดวิธีการบำรุงทางที่เหมาะสมของถนนแต่ละช่วงว่าในแต่ละปีจะต้องทำอะไรบ้าง ซึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีตั้งแต่การไม่ทำอะไรเลย (No Repair) ไปจนถึงการปูทับผิวเดิม (Overlay) เพื่อที่จะสนองตอบต่อเป้าประสงค์ที่วางไว้

Fwa et al. (2000) ศึกษาการนำเอาเทคนิคเจนเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการหาคำตอบ (solution) สำหรับปัญหาสมการเป้าหมายที่มากกว่าหนึ่ง (multiple objective function) ซึ่งสมการเป้าหมายเหล่านั้นมักจะมีความขัดแย้งกัน เมื่อนำเอาเทคนิคดังกล่าวมาใช้กับการหาแผนบำรุงทางที่เหมาะสม โดยทดลองกำหนดให้มีสมการเป้าหมาย 2 สมการ คือ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงทางน้อยที่สุด (minimize total maintenance cost) และ ถนนอยู่ในสภาพดีที่สุด (maximize pavement condition) จะเห็นได้ว่าเป็นไปไม่ได้เลยที่จะหาคำตอบที่ตอบสนองสมการเป้าหมายทั้งสองสมการได้พร้อมๆกันในลักษณะที่ดีที่สุด

ในการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงนำเอาหลักการ Pareto ranking มาช่วยในการหาคำตอบ ซึ่งคำตอบที่ได้นั้นจะมีมากกว่า 1 คำตอบ โดยแต่ละคำตอบจะเป็นคำตอบที่มีคุณลักษณะ undomonated solution กล่าวคือ เป็นคำตอบที่ไม่มีคำตอบอื่นใดเลยที่ตอบสนองต่อสมการเป้าหมายได้ดีกว่าพร้อมๆกันในทุกสมการเป้าหมาย ซึ่งเซตของคำตอบดังกล่าวจะเรียกว่า Pareto Optimal Set

ผลจากการใช้เทคนิคดังกล่าวมาใช้ในการหาแผนบำรุงทางที่เหมาะสมข้างต้นปรากฏว่าได้เซตของคำตอบจำนวน 4 คำตอบ ซึ่งเป็นกลุ่มคำตอบที่มีลักษณะเป็นกลางๆ ที่สามารถตอบสนองต่อฟังก์ชันเป้าหมายทั้งสองได้ดีในระดับหนึ่ง แต่ละคำตอบจะแสดงงบประมาณที่ต้องใช้ และสภาพของถนน(Pavement Condition Index) ที่เกิดขึ้น แต่ในกรณีที่งบประมาณมีจำกัด อาจใช้คำตอบที่แสดงค่างบประมาณใกล้เคียงกับงบประมาณที่มีอยู่เป็นคำตอบที่เหมาะสมเพียงคำตอบเดียวก็ได้

Joseph and Eddie (2002) พัฒนาและประยุกต์วิธีการที่เรียกว่า Preconstrained Genetic Algorithms (PCGA) เพื่อใช้ในการวางแผนบำรุงทางในระยะยาว ซึ่งประกอบด้วยวิธีการบำรุงทางที่เหมาะสม(แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ Do Nothing , Minor Maintenance และ Major Treatments) ในช่วงปีใดๆที่สามารถตอบสนองต่อเป้าหมายที่วางไว้ โดยวิธีการ PCGA จะเป็นการวิเคราะห์โดยมีเงื่อนไขหรือข้อจำกัดให้แก่ตัวเลือกก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการของเจนเนติกอัลกอริทึมเพื่อให้การทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึมเป็นไปด้วยความรวดเร็วยิ่งขึ้นในการหาคำตอบ (Solution)

เงื่อนไขที่นำมาใช้ได้แก่ Frequency Constraints คือ ความถี่ในการบำรุงทางโดยวิธีใดๆที่สามารถนำมาใช้ เช่น ในปีปัจจุบันถ้ามีการบำรุงทางประเภท Major Treatments ในถนน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ช่วงใดๆแล้ว ต้องเว้นช่วงเวลาอย่างน้อย 4 ปี จึงจะสามารถบำรุงทางประเภท Major Treatments ได้อีก ดังนั้นในปีที่ 1-3 นับถัดจากปีปัจจุบัน จะสามารถบำรุงทางประเภท Do Nothing , Minor Maintenance ได้เท่านั้น

เมื่อนำวิธีการ PCGA มาใช้ร่วมกับเจนเนติก อัลกอริทึม เทียบกับ ใช้การทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึมเพียงอย่างเดียวพบว่า ในการวางแผนบำรุงทางสำหรับถนนจำนวนไม่มากนัก (5-10 สายทาง) การใช้PCGA จะใช้เวลาการคำนวณโดยคอมพิวเตอร์มากกว่า แต่เมื่อใช้ในการวางแผนบำรุงทางสำหรับถนนจำนวน 20 สายทางขึ้นไป PCGA จะใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าอย่างน้อย 50 %

Celso et al. (2004) ในโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์จำเป็นต้องทำการบำรุงรักษาอยู่เป็นประจำเพื่อที่จะให้ระบบต่างๆในโรงไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือ (reliability) ว่าสามารถทำงานได้เป็นปกติอยู่ตลอดเวลา แต่เกิดปัญหาว่ายิ่งมีการบำรุงรักษาบ่อยมากขึ้นเท่าใดค่าใช้จ่ายก็จะสูงตามไปด้วย จึงได้มีพัฒนาแบบจำลองขึ้นมาโดยใช้หลักการของเจนเนติกอัลกอริทึม และ แบบจำลองความน่าเชื่อถือ (reliability Model) เพื่อที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุดซึ่งก็คือตารางการบำรุงรักษา (schedule) ที่เหมาะสมเพื่อช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว

จากการทดลองใช้แบบจำลองกับกรณีศึกษาคือ ระบบฉีดน้ำความดันสูงในโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ตั้งอยู่ที่ประเทศบราซิล ซึ่งประกอบด้วยปั๊ม 3 เครื่อง และวาล์วเปิดปิดจำนวน 4 ตัว โดยปั๊มจะต้องผลัดกันทำงานอย่างน้อย 2 ใน 3 ตัว ซึ่งจะปิดพร้อมกันไม่ได้ จำเป็นต้องหาตารางตารางการบำรุงรักษาที่เหมาะสม โดยกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายคือต้องการให้ความน่าเชื่อถือ (reliability) มีค่าสูงในขณะที่มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาน้อยที่สุด ซึ่งผลที่ได้ปรากฏว่าได้ผลลัพธ์ที่ตอบสนองต่อฟังก์ชันเป้าหมายได้ดีทั้งในแง่ความน่าเชื่อถือ และค่าใช้จ่าย

Anderson et al. (2004) ศึกษาการจัดการเตาเผาขยะเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด สามารถตอบสนองเป้าหมายด้านเศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม และ ข้อจำกัดในการดำเนินการ โดยทำการศึกษาวิจัยกับเตาเผาขยะในประเทศอังกฤษ มีตัวแปรคือ อัตราการส่งขยะเข้าเตาเผา (waste feed rate) และ ระยะเวลาการเผาขยะในเตาเผา (residence time) ซึ่งตัวแปรดังกล่าวจะมีผลต่อปริมาณคาร์บอนในขี้เถ้า(carbon-in-ash) กล่าวคือ ถ้าอัตราการส่งขยะเข้าเตาเผาต่ำ และ ระยะเวลาการเผาขยะในเตาเผายาวนาน ปริมาณคาร์บอนในขี้เถ้าก็จะต่ำซึ่งเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม แต่ค่าใช้จ่ายก็จะสูงเพราะต้องใช้เชื้อเพลิงปริมาณมากแต่เผาขยะได้จำนวนน้อย

เพื่อให้การจัดการเตาเผาขยะได้ผลดีจึงได้นำเอาหลักการของ Multi-objective genetic algorithm (MOGA) โดยใช้โปรแกรม MATLAB มาใช้หาวิธีการที่เหมะสม โดยกำหนดสมการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เป้าหมายคืออัตราการส่งขยะเข้าเตาเผาสูงที่สุด และ ปริมาณคาร์บอนในขี้เถ้าต่ำที่สุด มีข้อจำกัดคือ อุณหภูมิภายในเตาเผาต้องอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้มิฉะนั้นเตาเผาอาจเกิดความเสียหายได้ ผลการศึกษาพบว่า ที่จำนวนรอบของเจนเนติกอัลกอริทึม 100 รอบ จำนวนประชากร 200 อัตราการครอสโอเวอร์ 0.7 และอัตราการมิวเตชัน 0.1 จะได้อัตราการส่งขยะเข้าเตาเผาและปริมาณคาร์บอนในขี้เถ้าที่เหมาะสมอยู่ที่ 7,000 กก./ชม. และ 6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved