บทที่ 4

การคำนวณเชิงวิวัฒนาการ

บทนี้นำเสนอเทคนิคการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ โดยจะกล่าวถึงประเภทของเทคนิคการคำนวณประเภทต่าง ๆ ซึ่งอัลกอริทึมของการคำนวณเชิงวิวัฒนาการสามารถแบ่งออกเป็นสามประเภท [44] คือ วิธีการทางพันธุกรรม, กลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ, และการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการ อีกทั้งกล่าวถึงการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการบนพื้นฐานของวิธีการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม ซึ่งสามารถอธิบายได้ ดังต่อไปนี้

4.1 การคำนวณเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Computation: EC)

แนวทางที่สำคัญของงานวิจัยในปัจจุบัน คือ การพัฒนาและการประยุกต์ใช้เทคนิคในการค้นหาคำตอบตามหลักการของวิวัฒนาการทางธรรมชาติ โดยเฉพาะหลักการการอยู่รอดของค่าที่เหมาะสมที่สุด (Survival of the fittest) เสนอโดยชาร์ลส์ ดาร์วิน ที่กล่าวถึงทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติของพืชและสัตว์ในปัจจุบัน เป็นผลมาจากการปรับตัวให้เหมาะสมกับความต้องการของสภาพแวดล้อมเมื่อหลายล้านปีก่อน สิ่งมีชีวิตที่มีความสามารถในการอยู่รอดจะเป็นผู้ที่มีแนวโน้มในการดำรงเผ่าพันธุ์และสร้างประชากรรุ่นลูกหลานจำนวนมากในอนาคต ส่วนสิ่งมีชีวิตที่มีความสามารถในการเอาตัวรอดน้อยกว่าก็จะมีแนวโน้มที่จะมีประชากรรุ่นลูกหลานลดลงไปด้วย เมื่อเวลาผ่านไป ประชากรทั้งหมดที่รอดชีวิตจะพัฒนาตัวเองเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับระบบนิเวศน์มากกว่าประชากรรุ่นก่อน ซึ่งจะใช้แนวคิดนี้เป็นจุดเริ่มต้นในการแนะนำการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ [45]

รูปแบบของอัลกอริทึมเชิงวัฒนาการจะถูกกำหนดให้เป็นเซ็ตของพื้นที่การค้นหา (Search space) โดยค่าเฉพาะแต่ละประชากร (Individual) จะถูกกำหนดมาจากจำนวนประชากรเริ่มต้น (Initial population) ขั้นตอนต่อไป คือ การทำซ้ำจนกระทั่งวิธีการนั้นสิ้นสุดเงื่อนไข (Termination criterion) การคำนวณที่กำหนดค่าเฉพาะแต่ละประชากรจะถูกประเมินโดยฟังก์ชันความเหมาะสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Fitness function) ที่เฉพาะเจาะจงกับแต่ละปัญหาที่ต้องการแก้ไข ค่าเฉพาะแต่ละประชากรที่มีค่าที่เหมาะสมจะถูกเลือกไปเป็นประชากรต้นกำเนิด (Parent) และสร้างประชากรรุ่นลูก (Offspring) โดยตัวดำเนินการทำซ้ำ (Reproduction operators) จากนั้นประชากรทั้งหมดจะถูกคัดเลือกเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด และกลายไปเป็นประชากรต้นกำเนิดในรุ่นต่อไป

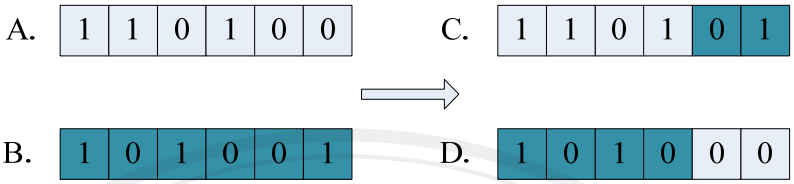
4.1.1 วิธีการทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA)

เทคนิคการคำนวณเชิงวิวัฒนาการที่ได้รับความนิยมวิธีการหนึ่ง คือ วิธีการทางพันธุกรรม ในอัลกอริทึมทางพันธุกรรมแบบดั้งเดิมใช้บิตสตริงที่มีความยาวคงที่ โดยแต่ละตำแหน่งในสตริงจะถูกกำหนดให้เป็นตัวแทนคุณลักษณะเฉพาะของค่าเฉพาะแต่ละประชากร และค่าที่ถูกเก็บไว้ในแต่ละตำแหน่งจะแสดงถึงคุณลักษณะเฉพาะของวิธีการ การเปรียบเทียบบิตสตริงสามารถแสดงในรูปของยีน (Genes) โดยแต่ละยีนจะแสดงเอกลักษณ์เฉพาะที่มีโครงสร้างอย่างอิสระ ตัวดำเนินการทำซ้ำส่วนใหญ่ที่ใช้ คือ การครอสโอเวอร์บิตสตริง (Bit-string crossover) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่ง คือ การครอสโอเวอร์แบบหลายจุด (Multiple-point crossover) สามารถแสดงดังภาพที่ 4.1 ส่วนตัวดำเนินการอีกตัวหนึ่งที่ได้รับความนิยม คือ การกลายพันธุ์บิตฟลิปปิ้ง (Bit-flipping mutation) หรือการทำครอสโอเวอร์แบบจุดเดียว (Single-point crossover) ดังแสดงในภาพที่ 4.2 ความแตกต่างหลักของตัวดำเนินการทั้งสอง คือ การครอสโอเวอร์บิตสตริงเป็นการนำข้อมูลบิตสตริงใหม่เข้าสู่ยีนของประชากรต้นกำเนิด แต่การกลายพันธุ์บิตฟลิปปิ้งเป็นการเปลี่ยนค่าบนบิตสตริงในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งของยีน และไม่มีการแลกเปลี่ยนระหว่างประชากรต้นกำเนิดด้วยกัน [45] วัฏจักรของวิธีการทางพันธุกรรมโดยธรรมชาติแล้วประกอบไปด้วยสามกระบวนการที่สำคัญได้แก่

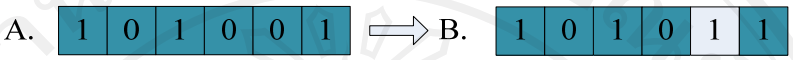
(1) การคัดเลือกสายพันธุ์ (Selection) คือ ขั้นตอนในการคัดเลือกประชากรที่ดีในระบบ ไปเป็นประชากรต้นกำเนิด เพื่อให้กำเนิดประชากรรุ่นลูกถัดไป

(2) ปฏิบัติการทางสายพันธุ์ (Genetic operation) คือ วิธีการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมด้วยวิธีการทางสายพันธุ์ เป็นขั้นตอนการสร้างประชากรรุ่นลูก ซึ่งได้จากการรวมกันของประชากรต้นกำเนิด เพื่อให้ได้ประชากรรุ่นลูกที่มีส่วนผสมผสาน หรือจากการแปรผันยีนของประชากรต้นกำเนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.1 การครอสโอเวอร์บิตสตริงจากประชากรต้นกำเนิด A. และ B. ไปยังประชากรรุ่นลูก C. และ D.



ภาพ 4.2 การกลายพันธุ์บิตฟลิปปิ้งจากประชากรต้นกำเนิด A. ไปยังประชากรรุ่นลูก B.

(3) การแทนที่ (Replacement) คือ ขั้นตอนการนำเอาประชากรรุ่นลูกที่กำเนิดใหม่ ไปแทนที่ประชากรต้นกำเนิดในรุ่นก่อน เป็นขบวนการในการคัดเลือกว่า ควรจะเอาประชากรรุ่นลูกในกลุ่มใด จำนวนเท่าไร ไปแทนประชากรต้นกำเนิดรุ่นก่อนหน้า

4.1.2 กลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Strategies: ES)

กลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการใช้ตัวแปร หรือค่าจริงที่ไม่เข้ารหัส แต่อาศัยขั้นตอนการกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นตัวดำเนินการและค้นหาขนาดของประชากร (Population size) โดยมีการพัฒนารูปแบบร่วมกับคุณลักษณะของวิธีการทางพันธุกรรม ความคล้ายคลึงกันของอัลกอริทึมทั้งสองวิธีการนี้ คือ การเก็บจำนวนประชากรของวิธีการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น และใช้เครื่องมือในการเลือกค่าเฉพาะของแต่ละประชากรที่ดีที่สุดจากจำนวนประชากรทั้งหมด ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างวิธีการกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ และวิธีการทางพันธุกรรมประการแรก คือ วิธีการกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการสามารถดำเนินการกับค่าเวคเตอร์ที่เป็นทศนิยม (Floating-point vector) ในขณะที่วิธีการทางพันธุกรรมจะดำเนินการเฉพาะค่าตัวเลขฐานสอง (Binary string) ที่ได้จากการเข้ารหัสเท่านั้น และประการสุดท้าย คือ วิธีการทางพันธุกรรมจะขึ้นอยู่กับกฎการรวมกันใหม่ (Recombination) เพื่อหาพื้นที่ในการค้นหา ในขณะที่วิธีการกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการจะใช้การกลายพันธุ์เป็นตัวดำเนินการที่สำคัญ

วิธีการกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการเป็นวิธีการเชิงนามธรรมของวิวัฒนาการในระดับค่าเฉพาะแต่ละประชากร (Individual behavior level) โดยเน้นการเชื่อมโยงเชิงพฤติกรรมระหว่างค่าเฉพาะแต่ละประชากร และประชากรรุ่นลูก อัลกอริทึมทั่วไปของวิธีการกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ [46] สามารถอธิบายอย่างง่ายได้ ดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(1) กำหนดรุ่นของประชากรรุ่นแรก (Generation) $g = 0$

(2) กำหนดค่าประชากรเริ่มต้น $C_g = \left\{ \bar{C}_{g,n} \middle| n = 1, \ldots, \mu \right\}$

เมื่อ μ คือ จำนวนประชากรต้นกำเนิดทั้งหมด

(3) ดำเนินการประเมินค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม

(4) ดำเนินการขั้นตอนต่อไปนี้ สำหรับ $l = 1, \ldots, \lambda$ โดยที่ λ คือประชากรรุ่นลูก

(4.1) ดำเนินการขั้นตอนครอสโอเวอร์ทั้งในส่วนที่เก็บค่าพารามิเตอร์หรือยีน และพารามิเตอร์ของกลยุทธ์

(4.2) ดำเนินการขั้นตอนการกลายพันธุ์ ทั้งในส่วนที่เป็นยีน และพารามิเตอร์ของกลยุทธ์

(4.3) ประเมินค่าความเหมาะสมของประชากรรุ่นลูก

(5) เลือกประชากรที่มีค่าความเหมาะสมที่สุดจำนวน μ ประชากรจากประชากรรุ่นลูก หรือจากทั้งประชากรต้นกำเนิดและประชากรรุ่นลูก เพื่อกำหนดเป็นประชากรต้นกำเนิดรุ่นใหม่ต่อไป

(6) กำหนดรุ่นของประชากรรุ่นต่อไป $g = g + 1$

ส่วนการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการเป็นกลยุทธ์การหาค่าที่เหมาะสมแบบสโตคาสติค (Stochastic optimization strategy) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกันกับวิธีการทางพันธุกรรม คือ การเน้นไปยังจุดที่ต้องทำการเชื่อมโยงทางพฤติกรรมระหว่างรุ่นของประชากรต้นกำเนิด และรุ่นของประชากรรุ่นลูก มากกว่าการพยายามเลียนแบบคุณลักษณะเฉพาะของตัวดำเนินการทางพันธุกรรม (Genetic operator) การโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการเป็นวิธีการที่มีประโยชน์ที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่น ๆ เช่น เทคนิคการไล่ระดับแบบเกรเดียน (Gradient descent) หรือการวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบโดยตรงที่ไม่สามารถทำได้ [47] ซึ่งวิธีการและขั้นตอนของการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการที่จะใช้ในการแก้ปัญหาจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

4.1.3 การโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Programming: EP)

การโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการเป็นกลยุทธ์การค้นหาจำนวนประชากร โดยจะดำเนินการกับประชากรที่เป็นค่าจริงซึ่งจะแสดงเซ็ตของพารามิเตอร์เพื่อหาช่วงของค่าความเหมาะสม (Fitness) ตัวแทนของประชากรที่ได้จะถูกกำหนดค่า (Initialize) มาจากการสุ่มหาค่าเฉพาะแต่ละประชากรโดยพิจารณาจากค่าความเหมาะสม ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้วิธีการประยุกต์ที่ดีของค่าเฉพาะของแต่ละ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประชากรที่สามารถแก้ปัญหาได้ อีกทั้งเป็นการกำหนดความน่าจะเป็นของประชากรที่มีค่าเหมาะสม เพื่อเป็นประชากรต้นกำเนิดในรุ่นต่อไป จากตารางที่ 4.1 จะแสดงการเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการเชิงวิวัฒนาการ และกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมทั่ว ๆ ไป [48]

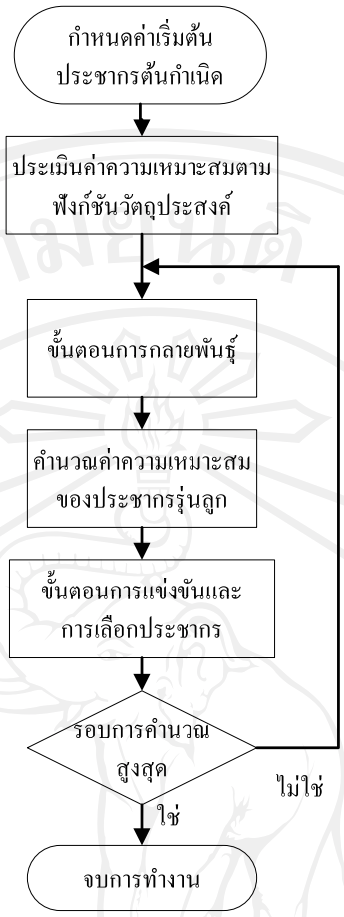
ความแตกต่างระหว่างการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการ และวิธีการก่อนหน้านี้ คือ กลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการจะไม่มีการแลกเปลี่ยนค่าเฉพาะแต่ละประชากร เพราะใช้เพียงตัวดำเนินการกลายพันธุ์เท่านั้น แต่ส่วนที่เหมือนกันของทั้งสองวิธีการนี้ คือ การแทนเวกเตอร์ที่เป็นค่าจริงโดยไม่ต้องเข้าสู่ขั้นตอนการรวมกันใหม่ ส่วนข้อแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างวิธีการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการ และวิธีการทางพันธุกรรม คือ การโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการใช้เพียงขั้นตอนการกลายพันธุ์ในการค้นหาคำตอบใหม่ในแต่ละรุ่นเท่านั้น

กฎสำคัญสองกฎที่วิธีการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการได้นำเอามาใช้ในการหาค่าเฉพาะแต่ละประชากรที่เหมาะสม คือ กฎการเลือก (Selection rule) และกฎการรวมกัน (Combination rule) กฎการเลือกจะถูกใช้เพื่อกำหนดค่าเฉพาะ ส่วนกฎการรวมกันจะใช้เพื่อแสดงค่าเฉพาะแต่ละประชากรที่จะแสดงในรุ่นต่อไป กลไกการเลือกจะขึ้นอยู่กับค่าความเหมาะสม หรือมาจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

วิธีการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการจะใช้เพียงตัวดำเนินการเดียวในขั้นตอนการรวมกัน (Combination process) ตัวดำเนินการเชิงวิวัฒนาการที่ถูกนำมาใช้มากที่สุด คือ ตัวดำเนินการกลายพันธุ์ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบสุ่มของข้อมูลที่มีอยู่ในค่าเฉพาะแต่ละประชากร กฎการรวมกันจะดำเนินการกับค่าเฉพาะของประชากรที่ถูกคัดเลือกจากกลไกการเลือก โครงสร้างอัลกอริทึมของการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.3 [49] และขั้นตอนที่สำคัญของอัลกอริทึมการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการ [50] สามารถอธิบายได้ ดังต่อไปนี้

(1) กำหนดจำนวนประชากรเริ่มต้นเท่ากับ K ค่าเฉพาะ และเซ็ตรุ่นของประชากรเริ่มต้น g ให้เท่ากับ 1 ค่าเฉพาะของประชากรแต่ละค่าจะถูกนำมาจับคู่เป็นเวคเตอร์ค่าจริง คือ (x_i, σ_i) เมื่อ $\forall i = \{1,\ldots,n\}$ โดยที่ x_i คือ ตัวแปรวัตถุประสงค์ σ_i คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ n มีค่าเป็นจำนวนจริง สำหรับการกลายพันธุ์แบบเกาส์ หรือที่เรียกว่าค่าพารามิเตอร์กลยุทธ์ที่ใช้เพื่อปรับค่าในวิธีการวิวัฒนาการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.3 โครงสร้างของการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการ

(2) ประเมินค่าความเหมาะสมในค่าเฉพาะแต่ละประชากร (x_i, σ_i) โดยขึ้นอยู่กับค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ $f(x_i)$

(3) ประชากรต้นกำเนิด (x_i, σ_i) แต่ละชุดจะกลายพันธ์เพื่อสร้างประชากรรุ่นลูก (x_i', σ_i') ออกมาอย่างละหนึ่งชุด ซึ่งจะถูกคำนวณไปตามสมการที่แสดง ดังต่อไปนี้

$$x_i'(j) = x_i(j) + \sigma_i(j) N_j(0,1) \qquad (4.1)$$
$$j = 1, 2, \ldots, n$$

เมื่อ $x_i(j)$ คือ องค์ประกอบลำดับที่ j ของค่าเฉพาะแต่ละประชากรต้นกำเนิดลำดับที่ i

$x_i'(j)$ คือ องค์ประกอบลำดับที่ j ของค่าเฉพาะแต่ละประชากรรุ่นลูกลำดับที่ i

$\sigma_i(j)$ คือ องค์ประกอบลำดับที่ j ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกลายพันธ์แบบเกาส์

$N_j(0,1)$ คือ การสุ่มแบบเกาส์ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับหนึ่งขององค์ประกอบลำดับที่ j

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

n คือ จำนวนของตัวแปรควบคุม

(4) คำนวณหาค่าความเหมาะสมแต่ละค่าจากประชากรรุ่นลูก $\left(x_i^{'},\sigma_i^{'}\right)$

(5) จับคู่เพื่อเปรียบเทียบกันระหว่างประชากรต้นกำเนิด $\left(x_i,\sigma_i\right)$ และประชากรรุ่นลูก $\left(x_i^{'},\sigma_i^{'}\right)$ ประชากรจะถูกเลือกอย่างสม่ำเสมอโดยการสุ่มตามค่าความเหมาะสมจากทั้งประชากรต้นกำเนิด และประชากรรุ่นลูกทั้งหมด

(6) ประชากรจะถูกเรียงตามค่าความเหมาะสม ตั้งแต่ค่ามากที่สุดไปยังค่าที่น้อยที่สุด ซึ่งประชากรที่มีค่าความเหมาะสมมากที่สุดจำนวนครึ่งหนึ่งของจำนวนประชากรรวมทั้งหมด จะถูกเลือกเพื่อกลายเป็นประชากรต้นกำเนิดในรุ่นถัดไป

(7) สิ้นสุดเงื่อนไขการคำนวณเมื่อถึงรอบการคำนวณสูงสุดที่กำหนด ถ้าหากยังไม่ถึงให้เพิ่มรอบการคำนวณโดย $g = g + 1$ จากนั้นย้อนกลับไปทำในข้อที่ 3 ไปจนถึงรอบการคำนวณสุดท้าย

4.1.4 การเปรียบเทียบวิธีการทั้งหมดของการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ

จากวิธีการคำนวณเชิงวิวัฒนาการทั้งหมดที่กล่าวไว้ข้างต้น สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1 โดยเป็นการเปรียบเทียบในแต่ละขั้นตอนการคำนวณว่า วิธีการนั้นสามารถนำมาแก้ไขปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสมที่สุด ซึ่งข้อเปรียบเทียบต่างๆ สามารถอธิบายได้ ดังต่อไปนี้

จากวิธีการกำหนดค่าเริ่มต้นเพื่อใช้ในการคำนวณ วิธีการทางพันธุกรรมจะใช้วิธีการเข้ารหัสแบบตัวเลขฐานสอง (Binary string encoding) กับทุก ๆ ค่าเฉพาะแต่ประชากร และจะนำค่าที่ได้มาเรียงตัวกันเป็นคำตอบของระบบแบบบิตต่อบิต แต่ทั้งวิธีการกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ และการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการ จะใช้เวคเตอร์ค่าจริงในการคำนวณ (Real valued vectors) ซึ่งข้อดีของวิธีการนี้ คือ สามารถเข้าใจและตรวจดูค่าได้ทันทีโดยไม่ต้องทำการถอดรหัส และมีข้อดีเหนือกว่าวิธีทางพันธุกรรมในแง่ของการคำนวณเชิงตัวเลข อันเนื่องมาจากวิธีดังกล่าวสามารถใช้เวกเตอร์ค่าจริงในการคำนวณโดยตรงจึงไม่มีการสูญเสียความละเอียดของตัวเลขแต่อย่างใด

ในขั้นตอนการเลือกประชากรต้นกำเนิด วิธีการทางพันธุกรรมจะใช้วิธีกำหนดค่าความเหมาะสมอย่างเป็นสัดส่วน (Fitness proportional selection) ในการเลือกประชากรต้นกำเนิด ซึ่งถือเป็นวิธีเบื้องต้นที่ไม่ยุ่งยาก เพราะเป็นการพิจารณาค่าความเหมาะสมของค่าเฉพาะแต่ละประชากรในย่านเดียวกัน คือ จะถูกกำหนดให้มีค่าไม่เกินหนึ่ง แต่มีข้อจำกัดว่าไม่สามารถใช้ประเมินค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.1 การเปรียบเทียบขั้นตอนของวิธีการทั้งหมดในการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ

ขั้นตอนของวิธีการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ	วิธีการทางพันธุกรรม	กลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ	การโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการ
การกำหนดค่าเริ่มต้น (Representation)	บิตสตริง	เวคเตอร์ค่าจริง	เวคเตอร์ค่าจริง
การเลือกประชากรต้นกำเนิด (Parent selection)	วิธีการกำหนดค่าความเหมาะสมอย่างเป็นสัดส่วน	สุ่มแบบสม่ำเสมอ (Uniform random)	ดีเทอร์มินิสติค
วิธีการรวมตัวกันใหม่ (Recombination)	การทำครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวและแบบหลายจุด	รวมกันแบบดิสครีตหรือรวมตัวแบบตัวกลาง	ไม่มี
ขั้นตอนการกลายพันธุ์ (Mutation)	วิธีการบิตฟลิปปลิ้ง	วิธีการรบกวนแบบเกาส์	วิธีการรบกวนแบบเกาส์
การคัดเลือกสายพันธุ์ (Survival selection)	คัดเลือกโดยพิจารณาตามค่าความเหมาะสม	วิธีการ $(\mu+\lambda)$ หรือ (μ,λ)	วิธีการ $(\mu+\mu)$

ความเหมาะสมที่มีค่าติดลบได้ ส่วนวิธีการกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการจะใช้วิธีการสุ่มหาค่าประชากรเริ่มต้นก่อนขั้นตอนการกลายพันธุ์ โดยทำการสุ่มจากประชากรต้นกำเนิดจำนวน 2 ประชากรหรือทั้งหมด เพื่อให้เกิดประชากรรุ่นลูกเพียง 1 ประชากรเท่านั้น ซึ่งผลคำตอบที่ได้จะแกว่งมากก่อนลู่เข้าหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ส่วนวิธีการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการจะใช้วิธีการดีเทอมินิสติค (Deterministic) คือ ประชากรต้นกำเนิด 1 ประชากรต่อการกลายพันธุ์ไปเป็นประชากรรุ่นลูกจำนวน 1 ประชากรเท่านั้น ซึ่งถูกกำหนดภายใต้เงื่อนไขของค่าความเหมาะสม ทำให้ค่าประชากรต้นกำเนิดเพื่อการกลายพันธุ์ที่ได้จะลู่เข้าหาคำตอบที่เหมาะสมเร็วกว่าสองวิธีการข้างต้น

ในขั้นตอนการรวมตัวกันใหม่ของวิธีการทางพันธุกรรมจะใช้วิธีการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียว (Single-point crossover) โดยประชากรรุ่นลูกจะมีส่วนของประชากรต้นกำเนิดอยู่อย่างละหนึ่งส่วนต่อหนึ่งจุดตัด ซึ่งปกติจุดตัดที่ได้จะมาจากการสุ่มเลือก นอกจากนี้ยังมีวิธีการครอสโอเวอร์แบบหลายจุด (Multiple-point crossover) ด้วย ซึ่งช่วยให้ประชากรรุ่นลูกมีความหลากหลายมากกว่าวิธีแรกแต่ก็อาจทำให้มีโอกาสเบี่ยงเบนของคำตอบในอัตราที่สูงกว่าเช่นกัน ส่วนวิธีการกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการจะใช้การรวมตัวกันแบบดีสครีต คือ เป็นการนำเอาค่าเฉพาะแต่ละประชากรแท้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ๆ จากประชากรต้นกำเนิดมาใช้ในการสร้างประชากรรุ่นลูก ซึ่งต่างจากวิธีการทางพันธุกรรมตรงที่รูปแบบของประชากรต้นกำเนิดไม่เหมือนกัน ส่วนวิธีการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการจะข้ามขั้นตอนนี้ไปเพื่อทำการกลายพันธุ์โดยตรง

ในขั้นตอนการกลายพันธุ์ของวิธีการทางพันธุกรรมจะใช้วิธีการบิตฟลิปปิ้ง หรือการแปรผันของค่าเฉพาะแต่ละประชากรในการกลายพันธุ์ โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อให้วิธีการหลุดพ้นออกจากคำตอบที่เป็นค่าที่ดีที่สุดเฉพาะส่วน (Local optimum) และป้องกันไม่ให้คำตอบของประชากรนั้นเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่คล้ายคลึงกันหมด ส่วนวิธีกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการและการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการ จะใช้ค่าเบี่ยงเบนช่วยในการลู่เข้าหาคำตอบที่เป็นค่าที่ดีที่สุดของทั้งหมด (Global optimum) โดยค่าเบี่ยงเบนที่นิยมนำมาใช้กัน คือ ค่าเบี่ยงเบนแบบเกาส์ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์

การคัดเลือกสายพันธุ์ของวิธีการทางพันธุกรรมจะทำการคัดเลือกจากค่าความเหมาะสม (Fitness proportional) ของประชากรจากนั้น ๆ เพราะประชากรที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีกว่า จะสามารถกลายพันธุ์เป็นประชากรรุ่นลูก และมีโอกาสในการอยู่รอดในรุ่นถัด ๆ ไปได้มากกว่า ซึ่งการคัดเลือกสามารถแบ่งออกได้สองวิธี ได้แก่ วิธีพิจารณาจากค่าความเหมาะสมโดยตรง คือ ทำการเลือกประชากรที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุดของประชากรทั้งหมดเพื่อนำไปเป็นประชากรต้นกำเนิดในรุ่นถัดไป และวิธีการพิจารณาจากค่าความเหมาะสมโดยอ้อม คือ จะทำการแปลงค่าความเหมาะสมให้อยู่ในช่วงที่ต้องการก่อน แล้วจึงเลือกประชากรที่มีค่าความเหมาะสมในช่วงที่กำหนดมาเป็นประชากรต้นกำเนิดในรุ่นถัดไป

ในการคัดเลือกสายพันธุ์ของกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการจะใช้วิธีการในการคัดเลือกสองแบบ คือ $(\mu+\lambda)$ หรือ (μ,λ) เมื่อ μ คือ จำนวนประชากรต้นกำเนิด และ λ คือ ประชากรรุ่นลูก โดยวิธีการ $(\mu+\lambda)$ จะทำการเลือกประชากรที่ดีที่สุด μ ประชากร จากทั้งประชากรต้นกำเนิดและประชากรรุ่นลูก ซึ่งมีเงื่อนไข คือ $1\le\mu\le\lambda<\infty$ วิธีการนี้เป็นวิธีการรักษาประชากรต้นกำเนิดที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดให้อยู่รอดในรุ่นถัดไป ส่วนวิธีการ (μ,λ) เป็นการเลือกประชากรที่ดีที่สุดให้เท่ากับประชากรต้นกำเนิด μ ประชากร โดยทำการคัดเลือกจากประชากรรุ่นลูกจำนวน λ ประชากรเท่านั้น ซึ่งมีเงื่อนไข คือ $1\le\mu<\lambda<\infty$ ส่วนการคัดเลือกสายพันธุ์ของการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการจะใช้วิธีการ $(\mu+\mu)$ เพื่อคัดเลือกประชากร ด้วยวิธีการคัดเลือกแบบจัดการแข่งขัน (Pairwise tournament) โดยจะทำการสุ่มเลือกค่าเฉพาะแต่ละประชากร q เพียงหนึ่งค่าที่เป็นค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลางจากทั้งประชากรต้นกำเนิดและประชากรรุ่นลูก จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับประชากรทุก ๆ ค่า หากประชากรที่มีค่าความเหมาะสมมากกว่าค่า q ก็จะถูกเลือกให้กลายมาเป็นประชากรต้นกำเนิดจำนวน μ ประชากรในรุ่นถัดไป

จากขั้นตอนของวิธีการทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า วิธีการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาได้ดีกว่าวิธีอื่น ๆ เนื่องจากใช้เพียงขั้นตอนการกลายพันธุ์อย่างเดียว ไม่ต้องเข้าสู่ขั้นตอนการรวมตัวกันใหม่เช่นเดียวกับวิธีการทางพันธุกรรม และวิธีกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ อีกทั้งไม่ต้องนำค่าเฉพาะแต่ละประชากรไปทำการเข้ารหัสเพราะใช้ค่าจริงในการหาคำตอบ

4.2 อัลกอริทึมของการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการบนพื้นฐานของวิธีการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการนำวิธีการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการเข้ามาประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อแก้ปัญหาในระบบไฟฟ้า โดยจะกล่าวถึงอัลกอริทึมและแผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของวิธีการดังกล่าวซึ่งแสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.2.1 และกล่าวถึงองค์ประกอบที่สำคัญของวิธีการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการ รวมไปถึงสมการที่ใช้ในการคำนวณในแต่ละขั้นตอนซึ่งจะแสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.2.2 โดยทั้งสองหัวข้อสามารถแสดงได้ ดังต่อไปนี้

4.2.1 อัลกอริทึมและแผนผังของการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการ

แผนผังของวิธีการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการบนพื้นฐานการคำนวณเพื่อหาค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม สามารถแสดงได้ดังแผนผังของวิธีการในภาพที่ 4.4 โดยขั้นตอนการทำงานหลัก ๆ สามารถอธิบายได้ ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมข้อมูลบัสและข้อมูลสายส่งของระบบ

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดขนาดของประชากรเริ่มต้นที่เหมาะสม (*popsize*) และจำนวนสูงสุดของรุ่นการคำนวณ (*maxgen*)

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดชุดของตัวนับจำนวนประชากร (*poptemp*)

ขั้นตอนที่ 4 สุ่มหาจำนวนตัวแปรสภาวะเริ่มต้นของค่าเฉพาะแต่ละประชากรในช่วงที่เป็นไปได้ของจำนวนประชากรที่กำหนด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้หลักการของนิวตัน-ราฟสัน เพื่อหาค่าต่างๆ ในระบบไฟฟ้า ได้แก่ ขนาดของกำลังไฟฟ้าจริงที่บัสอ้างอิง, ขนาดแรงดันไฟฟ้า, และมุมของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส เป็นต้น จากนั้นคำนวณหากระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งระบบ

ขั้นตอนที่ 6 เช็คข้อจำกัดของระบบ ทั้งข้อจำกัดแบบสมการและข้อจำกัดแบบอสมการ เพื่อตรวจสอบว่าระบบยังคงสามารถทำงานอยู่ในสภาวะปกติ หากมีข้อจำกัดใดที่เกินขอบเขตที่กำหนด ให้ย้อนกลับไปทำในขั้นตอนที่ 4 อีกครั้ง

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณหาค่าฟังก์ชันความเหมาะสมของค่าเฉพาะแต่ละประชากรได้จากสมการที่ (4.8)

ขั้นตอนที่ 8 ทำการค้นหาและเก็บค่าฟังก์ชันความเหมาะสมสูงสุดของค่าเฉพาะแต่ละประชากรทั้งหมด และรูปแบบของรุ่นที่สอดคล้องกัน

ขั้นตอนที่ 9 ประชากรรุ่นใหม่ถูกสร้างขึ้นจากประชากรรุ่นก่อนหน้าโดยตัวดำเนินการกลายพันธุ์ (The mutation operator) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.6) และ (4.7) ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 10 เช็คค่าเฉพาะแต่ละประชากรของประชากรรุ่นต้นกำเนิดว่ายังอยู่ภายในขอบเขตที่จำกัดหรือไม่ หากค่าไม่อยู่ในช่วงที่กำหนดขอบเขต ค่าเฉพาะแต่ละประชากรนั้นจะถูกตัดออกทันที

ขั้นตอนที่ 11 คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้หลักการของนิวตัน-ราฟสันอีกครั้ง ภายหลังจากตัวแปรสภาวะของระบบเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากขั้นตอนการกลายพันธุ์ของวิธีการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการ

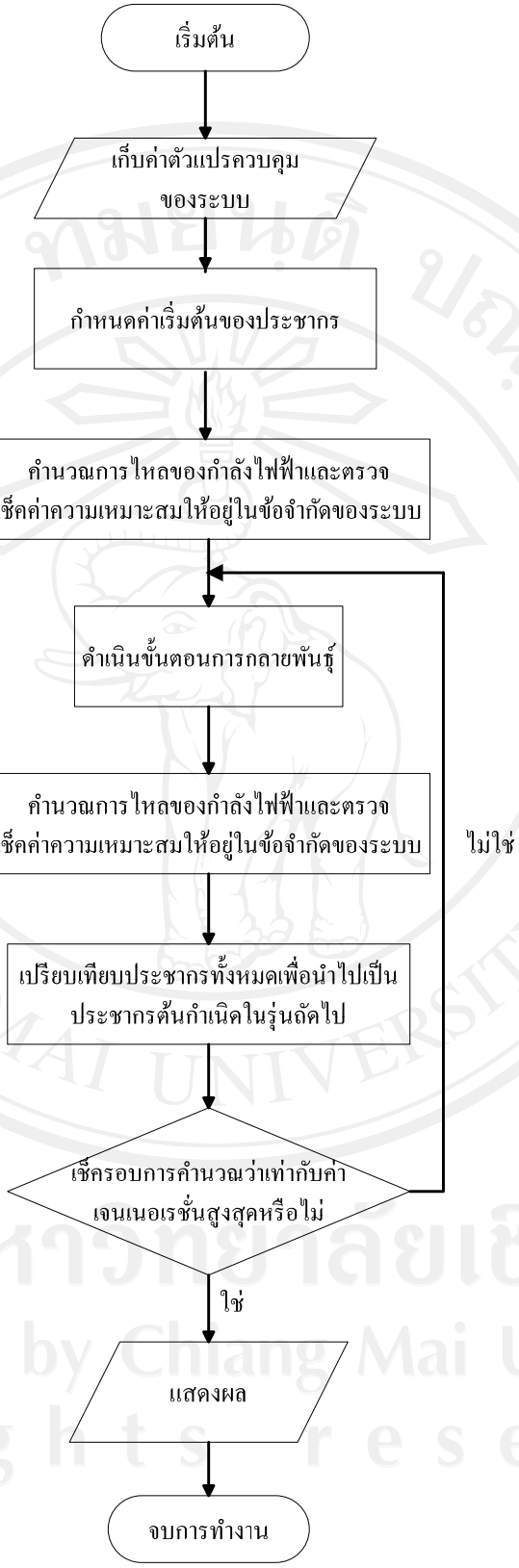
ขั้นตอนที่ 12 ทำการเช็คข้อจำกัดของระบบอีกครั้งถ้าข้อจำกัดทั้งหมดเป็นที่น่าพอใจ ค่าเฉพาะแต่ละประชากรของประชากรรุ่นใหม่จะถูกนำไปใช้ได้ต่อ ส่วนค่าที่เหลือจะถูกตัดทิ้งไป

ขั้นตอนที่ 13 หาค่าความเหมาะสมสูงสุดในกลุ่มของค่าเฉพาะแต่ละประชากร ถ้าหากมีค่ามากกว่าให้เก็บค่าความเหมาะสมนั้นไว้ พร้อมทั้งเก็บค่าของตัวแปรที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วย

ขั้นตอนที่ 14 เช็ครอบการคำนวณว่าเท่ากับรอบการคำนวณสูงสุดที่กำหนดไว้หรือไม่ หากยังไม่ใช่ให้ย้อนกลับไปทำในขั้นตอนที่ 8 จนกระทั่งถึงรอบการคำนวณสุดท้ายจึงจะดำเนินการขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 15 หาวิธีการที่ได้ค่าประชากรที่ดีที่สุดจากประชากรทั้งหมด แสดงผลและสิ้นสุดการคำนวณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.4 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการบนพื้นฐานของวิธีการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2 องค์ประกอบที่สำคัญของการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการ

การโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการบนพื้นฐานของวิธีการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม จะถูกใช้เพื่อหาชุดของจำนวนตัวแปรควบคุมแบบสุ่ม (Uniform random number) องค์ประกอบที่สำคัญของการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการ (Components of Evolutionary Programming) สามารถจำแนกได้ดังนี้ [64]

(1) การเลือกตัวแปรในการคำนวณ

ในขั้นตอนการเลือกตัวแปรในการคำนวณ หรือการเลือกค่าเฉพาะแต่ละประชากรจะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของปัญหาที่ถูกนำมาพิจารณา ขั้นตอนในการเลือกค่าเฉพาะแต่ละประชากรนั้นจะถูกใช้สำหรับฟังก์ชันการหาค่าที่เหมาะสมในรูปแบบของเวคเตอร์จำนวนจริง (Real value vector) และกรณีของการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการใช้ตัวแทนที่เป็นค่าทศนิยม (Floating-point) โดยตรงเมื่อ $(x_1,\ldots,x_n)$ คือ รูปแบบของค่าเฉพาะแต่ละประชากรซึ่งเป็นตัวแปรสภาวะ และ $(\sigma_1,\ldots,\sigma_n)$ คือ ตัวดำเนินการกลายพันธุ์ ซึ่งรูปแบบทั่วไปของค่าเฉพาะแต่ละประชากรในวิธีการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$(\underbrace{x_1,\ldots,x_n}_{x_i},\underbrace{\sigma_1,\ldots,\sigma_n}_{\sigma_i}) \tag{4.2}$$

เมื่อ $(x_1,\ldots,x_n)$ คือ ค่าเฉพาะแต่ละประชากรตั้งแต่ค่าที่ 1 ถึง ค่าที่ n

$(\sigma_1,\ldots,\sigma_n)$ คือ พารามิเตอร์การกลายพันธุ์ของค่าเฉพาะแต่ละประชากรตั้งแต่ค่าที่ 1 ถึงค่าที่ n

x_i คือ ตัวแปรสภาวะของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ลำดับที่ i

σ_i คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกลายพันธุ์แบบเกาส์ลำดับที่ i

(2) การกำหนดค่าเริ่มต้น

จำนวนประชากรเริ่มต้นจะเพิ่มขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของจำนวนตัวแปรควบคุม เมื่อจำนวนของตัวแปรควบคุมมีค่าน้อยกว่า 10 ตัวแปร จำนวนประชากรเริ่มต้นจะถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 20 ค่าเฉพาะแต่ละประชากร (individual) เพื่อเป็นการลดเวลาในการคำนวณ เพราะจำนวนรุ่นของประชากรจะลดลงตามจำนวนตัวแปรควบคุมที่ลดลง แต่หากจำนวนตัวแปรควบคุมเพิ่มขึ้นจำนวนประชากรเริ่มต้นจะไม่สามารถเพิ่มเป็นสัดส่วนโดยตรงเช่นเดียวกันกับจำนวนของตัวแปรควบคุม เพราะจะทำให้ความเร็วในการคำนวณลดลง เมื่อขนาดของตัวแปรควบคุมเพิ่มขึ้นไปถึง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จำนวนสูงสุดที่กำหนด ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนประชากรเริ่มต้น และจำนวนตัวแปรควบคุมสามารถแสดงได้ตามสมการ ดังต่อไปนี้ [64]

$$popsize = 20 \times Int\left(5 - 4e^{-k/40}\right) \tag{4.3}$$

เมื่อ *Popsize* คือ จำนวนของประชากร

k คือ จำนวนตัวแปรควบคุมของระบบ

Int คือ คิดเฉพาะค่าที่เป็นจำนวนเต็มเท่านั้น

จากสมการที่ (4.3) สามารถสรุปได้ว่า จำนวนของประชากรเริ่มต้นควรมีค่าเท่ากับ 30, 40, 60 และ 80 ค่าเฉพาะของแต่ละประชากร เมื่อจำนวนตัวแปรควบคุมมีจำนวนระหว่าง 1-11, 12-27, 28-55 และจำนวนมากกว่า 56 ตัวแปร ตามลำดับ

ประชากรเริ่มต้นจะประกอบไปด้วย ค่าเฉพาะของแต่ละประชากรที่หาค่าได้มาจากการสุ่ม โดยค่าทั้งหมดจะถูกกำหนดอยู่ในช่วงที่เป็นไปได้ของแต่ละตัวแปรควบคุม สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4.4)

$$x_i = x_i^{\min} + \mu\left(x_i^{\max} - x_i^{\min}\right) \tag{4.4}$$

เมื่อ x_i คือ องค์ประกอบค่าเฉพาะของแต่ละประชากรลำดับที่ i ในจำนวนประชากร

$x_i^{\min}$ คือ พิกัดต่ำสุดของค่าเฉพาะแต่ละประชากรลำดับที่ i

$x_i^{\max}$ คือ พิกัดสูงสุดของค่าเฉพาะแต่ละประชากรลำดับที่ i

μ คือ ตัวเลขจากการสุ่ม โดยกำหนดให้มีค่าอยู่ในช่วง $[0,1]$

ในระหว่างขั้นตอนการคำนวณซ้ำ จะทำการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับแต่ละค่าเฉพาะของแต่ละประชากร เพื่อคำนวณตัวแปรที่ได้ระบุไว้ของระบบก่อนทำการติดตั้งหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเข้าไปในระบบ โดยใช้การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าแบบนิวตัน-ราฟสัน

(3) การกลายพันธุ์

เวคเตอร์ที่เป็นจำนวนจริงจะมีตัวดำเนินการการกลายพันธุ์ที่แตกต่างกันเป็นจำนวนมาก รูปแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุดสามารถแสดงได้ ดังสมการที่ (4.5)

$$x' = x + M \tag{4.5}$$

เมื่อ x' คือ องค์ประกอบของค่าเฉพาะแต่ละประชากรรุ่นลูก,

x คือ องค์ประกอบของค่าเฉพาะแต่ละประชากรรุ่นต้นกำเนิด

M คือ ตัวแปรแบบสุ่ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่า M ในวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้รูปแบบของ การกลายพันธุ์แบบกระจายปกติ (Normally distributed mutation) ซึ่งเป็นรูปแบบการกลายพันธ์ที่ได้รับความนิยมอีกรูปแบบหนึ่ง ทั้งในส่วนของกลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ และการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการ ดังนั้น ตัวแปรสุ่ม $M = N(0, \sigma)$ [48]

เวคเตอร์ค่าเฉพาะของประชากรแต่ละตัวจะถูกกลายพันธุ์เพื่อสร้างเป็นประชากรรุ่นใหม่ ซึ่งเป็นเวคเตอร์รุ่นลูก (Offspring vector) ด้วยตัวแปรสุ่มแบบเกาส์ (Gaussian random variable) จากขั้นตอนนี้ จะได้จำนวนค่าเฉพาะของแต่ละประชากรรวมทั้งหมด $2k$ ค่า โดยเป็นจำนวนจากประชากรรุ่นต้นกำเนิด (Parent) จำนวน k ค่า และค่าเฉพาะของแต่ละประชากรจากรุ่นลูกอีก k ค่า องค์ประกอบแต่ละตัวสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.6) และ (4.7) ดังนี้

$$x'_{k,i} = x_{k,i} + N(0, \sigma_{k,i}) \tag{4.6}$$

$$\sigma_{k,i} = \left(x_i^{\max} - x_i^{\min}\right)\left(\frac{f_{\max} - f_k}{f_{\max}} + a^g\right) \tag{4.7}$$

เมื่อ $x'_{k,i}$ คือ องค์ประกอบลำดับที่ i ของค่าเฉพาะแต่ละประชากรรุ่นลูกลำดับที่ k

$x_{k,i}$ คือ องค์ประกอบลำดับที่ i ของค่าเฉพาะแต่ละประชากรรุ่นต้นกำเนิดลำดับที่ k

$N(0, \sigma_{k,i})$ คือ ตัวแปรสุ่มแบบเกาส์ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และค่าความแปรปรวนเท่ากับ $\sigma_{k,i}$

$x_i^{\min}$ คือ พิกัดต่ำสุดขององค์ประกอบลำดับที่ i ค่าเฉพาะแต่ละประชากรรุ่นต้นกำเนิด

$x_i^{\max}$ คือ พิกัดสูงสุดขององค์ประกอบลำดับที่ i ค่าเฉพาะแต่ละประชากรรุ่นต้นกำเนิด

f_k คือ ค่าความเหมาะสมของต้นกำเนิดลำดับที่ k

$f_{\max}$ คือ ค่าความเหมาะสมสูงสุดของต้นกำเนิด

a คือ จำนวนบวกแบบคงที่ ที่มีค่าน้อยกว่า 1

g คือ จำนวนรอบการทำซ้ำ (Iteration)

การคำนวณหาค่าความเหมาะสมของแต่ละค่าเฉพาะแต่ละประชากรลำดับที่ k สามารถคำนวณหาได้ตามสมการที่ (4.8)

$$f_k = K_f \times F \tag{4.8}$$

เมื่อ f_k คือ ค่าความเหมาะสมของค่าเฉพาะแต่ละประชากรลำดับที่ k

K_f คือ ค่าคงที่ (Arbitrary constant)

F คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการกำหนดหลักเกณฑ์การเปลี่ยนแปลงของค่าความเหมาะสม ปัญหาที่เกิดจากความแตกต่างของค่าความเหมาะสมระหว่างจุดต่ำสุดและจุดที่ทำงานได้ (Operating point) อาจมีไม่มากนัก แต่อย่างไรก็ตาม ในกฎการเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็น เช่น ความแตกต่างที่ไม่มากนัก อาจสามารถละเลยได้โดยการเพิ่มค่าความไม่แน่นอนเข้าไป ตัวอย่างเช่น จำนวนแบบสุ่ม (μ) เข้าไปในสมการที่ (4.8) เป็นต้น ในการจัดการกับปัญหานี้ โปรแกรมจะทำการปรับแต่งค่าความเหมาะสมและค่าความเหมาะสมสูงสุด ซึ่งจะนำไปใช้ในขั้นตอนการกลายพันธุ์ (Mutation process) และขั้นตอนการแข่งขัน (Competition process) วิธีการดังกล่าวสามารถอธิบายได้ ดังต่อไปนี้

$$f_{proci} = f_i - \varepsilon f_{\min} \qquad i = 1, 2, \ldots, m$$
$$f_{proc\max} = f_{\max} - \varepsilon f_{\min} \tag{4.9}$$

เมื่อ f_{proci} คือ ค่าความเหมาะสมลำดับที่ i ที่ใช้ในกระบวนการกลายพันธุ์และการแข่งขัน

$f_{proc\max}$ คือ ค่าความเหมาะสมสูงสุดที่ใช้ในกระบวนการกลายพันธุ์และการแข่งขัน

$f_{\max}$ คือ ค่าความเหมาะสมสูงสุดลำดับที่ i

$f_{\min}$ คือ ค่าความเหมาะสมต่ำสุดลำดับที่ i

ε คือ ค่าคงที่ โดยมีค่าอยู่ในช่วง $0.95 \le \varepsilon \le 1$ [64]

(4) การแข่งขันและการเลือก

ค่าเฉพาะของประชากรแต่ละตัวในจำนวนประชากรรวมทั้งหมด จะมีการแข่งขันกับค่าเฉพาะของแต่ละประชากรตัวอื่น ๆ เพื่อทำการเปลี่ยนแปลง และถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไป ค่าเฉพาะแต่ละประชากรจำนวน k ตัวที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุดในรอบการแข่งขันนั้น จะยังคงอยู่และกลายไปเป็นค่าเฉพาะแต่ละประชากรต้นกำเนิดในรุ่นต่อไป ค่าน้ำหนักที่ถูกกำหนดให้กับค่าเฉพาะแต่ละประชากรตามที่แข่งขันกัน สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4.10) และ (4.11) คือ

$$w_i = \sum_{t=1}^{N_t} w_t \tag{4.10}$$

$$w_t = \begin{cases} 1 & if \ f_k > f_r \\ 0 & otherwise \end{cases} \tag{4.11}$$

เมื่อ w_i คือ ค่าน้ำหนักของค่าเฉพาะแต่ละประชากรลำดับที่ k

f_k คือ ค่าความเหมาะสมของประชากรต้นกำเนิดลำดับที่ k

f_r คือ ค่าความเหมาะสมของคู่แข่งลำดับที่ r จากจำนวนประชากรรวมทั้งหมด

N_t คือ จำนวนคู่แข่งทั้งหมด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื่องจาก ขนาดของการแข่งขันมีผลกระทบน้อยมากต่อความเร็วในการแข่งขัน และมีผลต่อการเก็บรักษารุ่นของประชากร ขนาดของการแข่งขันที่สูงมากจะส่งผลต่อการลู่เข้าของค่าก่อนกำหนด ดังนั้น ขนาดที่เหมาะสมของการแข่งขันควรมีค่าเท่ากับ 15, 20 และ 25 ต่อขนาดของจำนวนประชากร เท่ากับ 20, 40 และ มากกว่า 40 ค่า ตามลำดับ ซึ่งจะช่วยให้กระบวนการในการประมวลผลเพิ่มมากขึ้น

ในบทต่อไปจะกล่าวถึง การนำวิธีการโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการมาใช้เพื่อเลือกขนาดและจัดสรรหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่เหมาะสม โดยเลือกใช้หน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวสองประเภท คือ พลังงานจากแสงอาทิตย์ และพลังงานจากลม โดยกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพระหว่างอัตราส่วนของผลประโยชน์ที่ได้รับต่อต้นทุนรวม จำลองการทำงานกับระบบทดสอบ IEEE 6-bus ระบบทดสอบ IEEE 30-bus ระบบทดสอบ IEEE 118-bus และตัวอย่างระบบจำหน่ายไฟฟ้าในประเทศไทย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved