

การหาคำตอบที่น่าพึงพอใจ โดยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม

วนิดา รัตนมณี¹⁾ และศุภชัย ปทุมนากุล²⁾

- ¹⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ²⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้ปัญหาด้านความพึงพอใจสูงสุด (optimization problem) มีอยู่มากมายเช่น ปัญหาด้านการจัดลำดับการผลิต การขนส่ง กระบวนการขนย้าย การวางแผนการผลิต เป็นต้น ปัญหาเหล่านี้มีคำตอบที่เป็นไปได้จำนวนมาก แต่การจะหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหานั้นทำได้ยาก อย่างไรก็ตาม ยังมีวิธีการที่สามารถหาคำตอบที่น่าพึงพอใจได้จากกลุ่มคำตอบที่สุ่มมาทั้งหมดได้ เรียกวิธีการนี้ว่า วิธีฮิวริสติก ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีอยู่หลายเทคนิค เจเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถหาคำตอบแบบฮิวริสติกได้ผลดีและมีกระบวนการทำงานไม่ซับซ้อน เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่น ดังนั้น ในบทความนี้จะกล่าวถึงหลักการพื้นฐานของเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม และตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานในการหาคำตอบที่น่าพึงพอใจของปัญหา

คำสำคัญ : เจเนติกอัลกอริทึม, ฮิวริสติก

Finding Solution by Genetic Algorithm

Wanida Rattanamane and Supachai Pathumnakul

- 1) Lecturer, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Prince Of Songkhla University
- 2) Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

Abstract

Nowadays, various optimization problems are existed in many areas; for example, production scheduling, transportation, material handling, production planning etc. There are many solutions for these problems but it is difficult to find the best solution. However, a good solution can be found from search space by a heuristic method. Genetic algorithm, which is not complex technique compared to the others, is one of the local search heuristic. In this paper, the genetic algorithm's basic concepts and some examples of applying this technique to some optimization problems are explained.

Key words : Genetic algorithm, Heuristic

บทนำ

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรม ระบบการขนส่ง หรือการทำงานในองค์กรต่างๆ ล้วนแล้วแต่ต้องประสบปัญหาในการทำงานแทบทั้งสิ้น ปัญหาส่วนใหญ่เป็นปัญหาที่ต้องการหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ให้ความพึงพอใจสูงสุด ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ เรียกปัญหาเหล่านี้ว่า ปัญหาด้านความพึงพอใจสูงสุด (optimization problem) ตัวอย่างปัญหาเหล่านี้ได้แก่ ปัญหาด้านการวางแผนการผลิต การจัดผังการทำงาน การจัดลำดับการผลิต การกำหนดเส้นทางการขนย้าย หรือการวางแผนการเดินทางเที่ยว เป็นต้น ซึ่งคำตอบของปัญหาต่างๆ เหล่านี้มีคำตอบอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากปัญหามีขนาดใหญ่หรือปัญหาที่มีตัวแปรเข้ามาเกี่ยวข้องจำนวนมาก ดังนั้นการหาคำตอบที่ดีที่สุดจึงเป็นเรื่องที่ทำได้ยากหรือเสียเวลามาก วิธีการที่ใช้หาคำตอบที่ดีที่สุดมีอยู่หลายวิธีเช่น การโปรแกรมเชิงเส้น (linear programming) การโปรแกรมแบบจำนวนเต็ม (integer programming) กลวิธีขยายและจำกัดเขต (branch and bound) หรือการโปรแกรมแบบไดนามิก (dynamic programming) เป็นต้น วิธีการเหล่านี้เหมาะที่จะใช้หาคำตอบสำหรับปัญหาที่มีขนาดเล็ก หรือปัญหาที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรและเงื่อนไขไม่มาก ในทางตรงกันข้ามหากเป็นปัญหามีขนาดใหญ่ วิธีการที่จะใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดคือ วิธีการแบบฮิวริสติก ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้หาคำตอบที่ดีที่สุดจากกลุ่มคำตอบที่สุ่มมาได้ (search

space) แต่อาจจะใช้หรือไม่ใช้คำตอบที่ดีที่สุดของปัญหานั้นๆ ตัวอย่างเช่น การประกวดนางสาวไทยจะใช้วิธีการนำสาวงามที่เป็นตัวแทนจากจังหวัดต่างๆ หรือเวทีต่างๆ เข้ามาประกวด ใช้กรรมการตัดสินเลือกผู้ที่งามที่สุดในกลุ่มผู้เข้าประกวด ซึ่งผู้ที่ชนะการประกวดถือว่าเป็นนางสาวไทยเปรียบเสมือนผู้ที่งามที่สุดในประเทศ แต่ความเป็นจริงแล้วหญิงผู้นี้อาจจะเป็นหรือไม่เป็นผู้ที่งามที่สุดจากกลุ่มประชากรผู้หญิงทั้งหมดในประเทศไทยก็ได้

วิธีการหาคำตอบแบบวิธีการฮิวริสติกมีอยู่หลายวิธีเช่น การค้นหาแบบตาบ (Tabu search) เจเนติกอัลกอริทึม (genetic algorithm) เป็นต้น วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่ใช้หาคำตอบที่น่าพอใจสูงสุดจากกลุ่มคำตอบที่สุ่มมาได้หรือหามาได้บางส่วน

ในบทความนี้จะกล่าวถึงหลักการเบื้องต้นของเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม โดยจะกล่าวถึงหลักการทำงานของเทคนิคโดยทั่วไป และการนำเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึมไปประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบที่น่าพอใจที่สุดของปัญหาต่างๆ รายละเอียดทางด้านเจเนติกอัลกอริทึมได้มีเขียนไว้ในหนังสือหลายเล่มเช่น หนังสือของ E. Goldberg (Goldberg, 1989) D. Quagliarella และคณะ (Quagliarella et. al., 1998) F. Man และคณะ (Man et. al., 1999) และ P. Mazumder (Mazumder, 1999) เป็นต้น

หลักการเบื้องต้นของเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม

เจเนติกอัลกอริทึม เป็นอัลกอริทึมสำหรับการหาคำตอบที่น่าพึงพอใจที่สุดจากกลุ่มคำตอบที่สุ่มมาได้บนพื้นฐานของกลไกการคัดเลือก และการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติ การค้นหาด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึมเริ่มต้นด้วยการสุ่มคำตอบขึ้นมาจำนวนหนึ่งซึ่งเป็นกลุ่มคำตอบที่เป็นไปได้ นั้นหมายถึงว่าเป็นกลุ่มคำตอบที่มีค่าของตัวแปรทุกตัวของปัญหาที่กำลังสนใจและเป็นค่าที่เป็นไปได้สอดคล้องตามเงื่อนไขของปัญหา การค้นหาคำตอบที่น่าพอใจในสูงสุดนั้น เป็นการเลือกคำตอบที่ดีที่สุดจากกลุ่มคำตอบที่สามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้หรือกลุ่มคำตอบที่ได้รับการคัดเลือกสายพันธุ์มาจากกลุ่มก่อนหน้านี้ การคัดเลือกสายพันธุ์ที่ดีนั้นใช้วิธีการเดียวกับสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติคือ การเลือกสิ่งมีชีวิตที่สามารถปรับตัวได้ดี หรือเข้ากับธรรมชาติได้เป็นอย่างดีเมื่อสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป การเลือกกลุ่มคำตอบสายพันธุ์ดีคือ การเลือกคำตอบที่มีค่าเข้าใกล้กับเป้าหมายของปัญหาที่กำลังสนใจ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากปัญหาที่สนใจเป็นเรื่องของการทำให้เกิดกำไรสูงสุด กลุ่มคำตอบสายพันธุ์ดีคือ คำตอบที่สามารถทำให้เกิดกำไรสูงสุดในกลุ่มขณะนั้น เป็นต้น เมื่อมีการคัดเลือกสายพันธุ์ที่ดีแล้วต่อไปกลไกทางเจเนติกก็จะลอกกลไกธรรมชาติในเรื่องของการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างคำตอบสายพันธุ์ที่ถูกเลือกมา เหมือนกับการที่

สิ่งมีชีวิตที่อยู่รอดได้ดีในธรรมชาติก็จะมี การผสมข้ามพันธุ์กัน เพื่อจะได้มีลูกที่มีโอกาสพัฒนาตัวเองให้เข้ากับธรรมชาติได้ดียิ่งกว่าพ่อแม่ จากหลักการดังกล่าววิธีการทางเจเนติกอัลกอริทึมก็จะทำการจับคู่กลุ่มคำตอบสายพันธุ์ดี แล้วหาตำแหน่งที่จะทำการเปลี่ยนโครงสร้างของคำตอบระหว่างคู่ที่จับกันแล้วนั้น เพื่อจะได้กำเนิดคำตอบคู่ใหม่ที่มีโอกาสพัฒนาผลลัพธ์ให้เข้าใกล้เป้าหมายที่แท้จริงมากยิ่งขึ้น กลุ่มคำตอบรุ่นใหม่ที่เกิดขึ้นจากการผสมข้ามพันธุ์จากกลุ่มคำตอบรุ่นที่แล้วนั้นก็จะได้รับการคัดเลือกกลุ่มคำตอบสายพันธุ์ที่ดีที่สุดหรือพัฒนาขึ้นอีกต่อไปเรื่อยๆ ด้วยกลไกทางเจเนติกอัลกอริทึมก็จะทำการกำเนิดกลุ่มคำตอบเป็นรุ่นๆ ไป ด้วยแนวความคิดว่าในแต่ละรุ่นของประชากรหรือกลุ่มคำตอบนั้นน่าจะมีการพัฒนาไปเรื่อยๆ

นอกจากที่กล่าวมาแล้ว ยังมีสิ่งที่น่าสนใจอีกอย่างหนึ่งในธรรมชาติของการมีชีวิตอยู่รอดสำหรับสิ่งมีชีวิตคือ การเปลี่ยนแปลงของจีนโดยไม่มีเหตุผลอธิบาย หรือการกลายพันธุ์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่ใช่สิ่งที่ได้รับอิทธิพลจากพ่อแม่ หรือคู่คำตอบสายพันธุ์ที่ได้รับการผสมพันธุ์ แต่เป็นการเปลี่ยนแปลงไปเองโดยไม่สามารถหาเหตุผลอธิบายได้ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจจะทำให้ลูกมีลักษณะที่ดีกว่าพ่อแม่หรือกลุ่มคำตอบที่มีการกลายพันธุ์อาจจะให้ผลลัพธ์เข้าสู่เป้าหมายที่แท้จริงมากขึ้นก็เป็นได้ ซึ่งการกลายพันธุ์จะเป็นหลักการที่มีการทำงานในกลุ่มคำตอบที่ได้กำเนิดใหม่ทุกๆ รุ่น

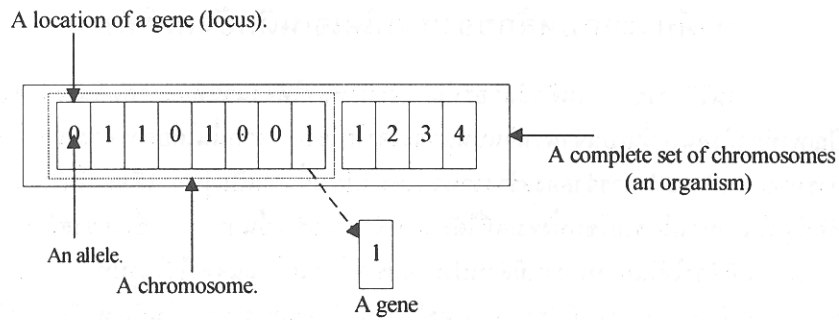
ด้วยหลักการพื้นฐานของเจเนติกอัลกอริทึมทั้งหมดที่ได้กล่าวมา (รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนจะได้อธิบายไว้ในส่วนต่อไป) จะเห็นว่าเป็นวิธีการที่พยายามหาคำตอบที่เป็นไปได้ให้มากที่สุดและมีการพัฒนาคำตอบไปเรื่อยๆ เพื่อที่จะทำให้คำตอบที่น่าพึงพอใจที่สุดที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดจริงๆ ของปัญหาที่กำลังสนใจ วิธีการเช่นนี้เป็นหลักการง่ายๆ แต่สามารถใช้ได้ผลดีกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ โดยไม่ต้องหาค่าตัวแปรที่เป็นไปได้ทั้งหมดแล้วเลือกคำตอบที่ดีที่สุดมา นอกจากนี้ยังสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาที่จะได้รับคำตอบที่ผิดพลาดซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้หากใช้การค้นหาด้วยวิธีการอื่นๆ เช่น การหาค่าสูงสุด ซึ่งโดยกราฟคำตอบมียอดอยู่หลายยอด เป็นเหตุให้การหาคำตอบค่าที่สูงที่สุดอาจจะได้คำตอบจากยอดที่ไม่ใช่ยอดที่สูงสุด ดังนั้น คำตอบจึงผิดพลาดได้ เป็นต้น ในหัวข้อต่อไปเป็นการอธิบายถึงองค์ประกอบเบื้องต้นของเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม และตัวอย่างการใช้งาน

องค์ประกอบหลักของเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม

ในวิธีการของเจเนติกอัลกอริทึม จะกำหนดให้จำนวนตัวแปรตัดสินใจสำหรับปัญหาที่กำลังสนใจนั้นเป็นจำนวนจินบนแต่ละโครโมโซม จากนั้นโดยการทำงานของวิธีการทางเจเนติกจะทำการจำลองสร้างจำนวนโครโมโซมขึ้นมาเป็นรุ่นๆ เพื่อหาโครโมโซมที่ดีที่สุดจำนวนโครโมโซมทั้งหมดที่ได้ทำการจำลองสร้างขึ้นมา ซึ่งโครงสร้างของโครโมโซมที่ต้องใช้ในการทำงานมีส่วนประกอบของโครโมโซมแสดงไว้ในรูปที่ 1 และมีการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ปรากฏบนโครโมโซม กับค่าที่ปรากฏอยู่ในปัญหาที่เรากำลังสนใจซึ่งมีแสดงไว้ในตารางที่ 1 หลักการทำงานที่สำคัญของเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึมคือ จะมีการคัดเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นโครโมโซม โดยเลือกจากค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโครโมโซมที่ดีที่สุดหรือเข้าใกล้เป้าหมายมากที่สุดเช่น เป็นโครโมโซมตัวที่ให้ค่าผลลัพธ์มากที่สุด ในกรณีที่วัตถุประสงค์ของปัญหาต้องการได้คำตอบจากปัญหาเป็นค่าที่มากที่สุด หรือเป็นโครโมโซมตัวที่ให้ผลลัพธ์เป็นค่าที่น้อยที่สุดในกรณีที่วัตถุประสงค์ของปัญหาที่ต้องการได้คำตอบเป็นค่าที่น้อยที่สุด เป็นต้น เมื่อเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุดจากรุ่นปัจจุบันได้แล้วก็จะใช้โครโมโซมดังกล่าวเป็นตัวที่จะสืบพันธุ์ในรุ่นต่อไป จากหลักการสำคัญที่ได้กล่าวโดยสรุปไว้แล้วนี้สามารถอธิบายหลักการทำงานโดยละเอียดดังนี้

การจำลองโครโมโซมให้เข้ากับปัญหาที่สนใจ

การจำลองโครโมโซมให้เข้ากับปัญหาที่สนใจนั้น เป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดในการทำงานของเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ทำให้ผู้แก้ปัญหาทราบว่าสามารถหาคำตอบของปัญหาโดยวิธีการของเจเนติกได้หรือไม่ ในขั้นนี้ต้องมีการศึกษาอย่างละเอียดว่าตัวแปรตัดสินใจของปัญหามีอะไรบ้าง เพื่อจะได้นำตัวแปรเหล่านั้นมากำหนดเป็นลักษณะของโครโมโซมดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งโครโมโซมที่ได้นี้จะเป็นคำตอบหรือผลลัพธ์ของปัญหา ในการกำหนดลักษณะโครโมโซมต้องมีการกำหนดสิ่งต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 1 Composites of an organism

ตารางที่ 1

ความสัมพันธ์ระหว่างเทอมของเจเนติกอัลกอริทึมและเทอมที่อยู่ในปัญหา

Genetic terms	Problem solving terms
Chromosome	Code of a solution
Gene	Encoding
Locus	A location of a gene
Allele	A binary or digit number
Phenotype	A series of decision variables
Genotype	Fitness or a value of an objective function

- กำหนดความยาวของโครโมโซมตามจำนวนตัวแปรตัดสินใจ หรือตัวแปรที่ต้องการจะรู้คำตอบ เช่น หากปัญหาที่สนใจ คือ จำนวนสินค้าที่ต้องการผลิตเพื่อให้ได้กำไรเกิดขึ้นสูงสุดภายในโรงงานแห่งหนึ่ง ซึ่งมีสินค้าที่ผลิตภายในโรงงาน 20 ชนิด แสดงว่าคำตอบของตัวแปรตัดสินใจมี 20 ตัวในปัญหานี้ ดังนั้นความยาวของโครโมโซมที่เกิดขึ้นคือ 20 ตำแหน่ง เป็นต้น
- กำหนดค่ารหัสแต่ละตำแหน่ง หรือกำหนดเงินว่าในแต่ละตำแหน่งให้มีค่าเป็นอะไรได้บ้าง ตัวอย่างเช่น จากตัวอย่างปัญหาในข้อที่ 1 แสดงว่าแต่ละตำแหน่งทั้ง 20 ตำแหน่ง สามารถกำหนดค่าให้เป็นค่า 0-9 เนื่องจากคำตอบที่ต้องการคือ จำนวนสินค้าที่ต้องการผลิต เป็นต้น
- กำหนดตำแหน่งแต่ละเงิน เป็นการกำหนดว่าแต่ละตำแหน่งของเงินเป็นค่าของตัวแปรใด ตัวอย่างเช่น ตำแหน่งที่ 1 แทนจำนวนสินค้าประเภทเสื้อ ตำแหน่งที่ 2 แทนจำนวนสินค้าประเภทกางเกง เป็นต้น

4. กำหนดค่าของตัวเลขในจีน เป็นการบอกว่าค่าตัวแปรหรือคำตอบของตัวแปรตัดสินใจซึ่งมีรหัสเป็นค่าที่ได้ในข้อ 2 ว่าเป็นค่าใด ตัวอย่างเช่น หากว่ารหัสที่ได้ในข้อ 2 ณ ตำแหน่งโครโมโซมที่ 1 เป็นเลข 3 แสดงว่าค่าของตัวแปรที่ตำแหน่งที่ 1 หรือจำนวนเสื้อที่ต้องการผลิตเป็น 30,000 ตัว เป็นต้น ในแต่ละตำแหน่งบนโครโมโซมรหัสที่นำมาแปลงไม่จำเป็นต้องคุณหรือปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการที่เหมือนกันก็ได้
5. การกำหนดชุดของตัวแปรตัดสินใจ ในบางปัญหาคำตอบที่ต้องการอาจจะเป็นไปได้หลายลักษณะเช่น เป็นค่าตัวเลขของแต่ละตัวแปรดังตัวอย่างที่กำหนดในข้อที่ 1 หรืออาจจะเป็นตำแหน่งของแผนกต่างๆ ซึ่งการกำหนดรหัสตัวแปรอาจจะแตกต่างจากตัวแปรชุดที่ 1 เช่น หากสถานที่ที่จะกำหนดเป็นแผนกมีอยู่ 5 แห่ง แสดงว่ารหัสที่จะกำหนดสำหรับตัวแปรชุดที่ 2 มีค่าเป็น 1-5 เป็นต้น ในการกำหนดชุดของตัวแปรตัดสินใจจะขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาที่สนใจว่าต้องการหาคำตอบของอะไรบ้าง
6. ค่าที่ได้จากรหัสตัวแปรทั้งหมด เป็นการหาคำตอบของตัวแปรทั้งหมดว่ามีคำตอบเป็นอะไรบ้างเช่น ตัวแปรทั้ง 20 ตัวมีค่าทั้งหมดเป็นค่าใดบ้างหรือตำแหน่งของแต่ละแผนกอยู่ที่ใดบ้าง เป็นต้น

เมื่อมีการกำหนดโครโมโซมเข้ากับปัญหาที่กำลังสนใจซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดของเทคนิคเจเนติก อัลกอริทึมได้เรียบร้อยแล้ว ต่อไปก็จะเป็นการทำงานด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึมซึ่งเป็นวิธีการที่จะนำไปสู่การหาคำตอบที่ดีที่สุดในหมู่ประชากรหรือคำตอบที่ได้สุ่มมาทั้งหมดได้โดยรายละเอียดจะได้กล่าวต่อไป

การทำงานด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึมเพื่อนำไปสู่

การหาคำตอบที่ดีที่สุด

ในการทำงานของเจเนติกเพื่อนำไปสู่คำตอบที่ดีที่สุดสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน โดยส่วนที่ 1 คือ ส่วนของการคำนวณค่าผลลัพธ์จากโครโมโซมซึ่งเป็นคำตอบของปัญหาที่สนใจ ส่วนที่ 2 คือ ส่วนของวิธีการเลือกโครโมโซม และส่วนที่ 3 คือ การปฏิบัติการทางเจเนติกอัลกอริทึม ในส่วนของรายละเอียดสามารถอธิบายได้ดังนี้

ส่วนการคำนวณค่าผลลัพธ์จากโครโมโซม (fitness function) เป็นส่วนที่ใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณค่าผลลัพธ์ที่เป็นค่าเป้าหมาย โดยฟังก์ชันดังกล่าวเป็นสมการที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างค่าตัวแปรตัดสินใจต่างๆ หลังจากที่มีการแปลงค่าจากโครโมโซมที่ได้มาเป็นค่าของตัวแปรทั้งหมดที่ต้องการแล้ว จากนั้นก็ทำการ

นำค่าของตัวแปรทั้งหมดที่ได้ไปแทนค่าในฟังก์ชัน เพื่อคำนวณค่าคำตอบของปัญหาจากค่าของกลุ่มตัวแปรที่ได้ ตัวอย่างเช่น การคำนวณค่ากำไรจากค่าตัวแปรทั้งหมดที่ได้จากการแปลงค่าโครโมโซมซึ่งฟังก์ชันดังกล่าว ต้องกำหนดขึ้นมาเป็นสมการดังแสดงเป็นสมการสมมติขึ้นในสมการที่ 1 เป็นต้น

$$20X_1 + 3X_2 + 45X_3 + \dots + 9X_{20} \quad (1)$$

ส่วนการเลือกโครโมโซม (selection function) เป็นส่วนที่ทำให้เกิดการเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุดนั้นหมายถึง เป็นส่วนที่ทำให้เกิดการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาในแต่ละรุ่นของจำนวนโครโมโซมทั้งหมด กล่าวคือ จำนวนโครโมโซมของปัญหาเราจะกำหนดเป็นรุ่นๆ (generation) แล้วจะมีการเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นเพื่อนำโครโมโซมที่ดีที่สุด在这一รุ่นนี้เป็นตัวกำเนิดโครโมโซมในรุ่นต่อไป ในส่วนนี้เป็นการทำงานเลียนแบบการคัดเลือกสิ่งมีชีวิตที่ดีที่สุดในธรรมชาติให้ชีวิตอยู่รอดตามธรรมชาติ ซึ่งการทำงานดังกล่าวจำเป็นต้องเขียนโปรแกรมการเลือกขึ้นมาโดยเฉพาะสำหรับแต่ละปัญหา

การปฏิบัติการทางเจเนติกอัลกอริทึม (genetic algorithm operation) เป็นส่วนที่เกี่ยวกับความแปรปรวนต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติต่อโครโมโซมที่ถูกเลือกไว้แล้ว เพื่อให้เกิดโอกาสการปรับเปลี่ยนพันธุ์ให้ดีกว่าตัวโครโมโซมตัวเดิมที่เลือกไว้แล้วหรือในทางกลับกันอาจจะเกิดสายพันธุ์ที่ให้ผลลัพธ์แย่กว่าเดิม ซึ่งโอกาสดังกล่าวอาจจะเกิดขึ้นได้จากการที่โครโมโซมที่ได้ตัวใหม่ได้มาจากจีนของโครโมโซมพ่อ หรือโครโมโซมแม่ หรืออาจจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าจีนไปโดยไม่มีเหตุผลในการอธิบาย เป็นผลให้โครโมโซมใหม่ที่ได้ในรุ่นต่อไปแตกต่างจากเดิม ซึ่งอาจจะดีกว่าเดิมหรือไม่ดีกว่าเดิมก็ได้ ในส่วนนี้ก็เป็นส่วนที่มีการเลียนแบบการทำงานในการเลือกสายพันธุ์ที่ดีที่สุดของสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติเช่นเดียวกัน ในการปฏิบัติการทางเจเนติกอัลกอริทึมสามารถทำได้ 3 วิธีด้วยกัน คือ

- 1) **การสืบพันธุ์ (reproduction)** เป็นวิธีการลอกโครโมโซมจากรุ่นที่แล้วที่ถูกคัดเลือกมาว่าเป็นโครโมโซมที่ดีที่สุด เป็นกระบวนการทางธรรมชาติโดยการคัดเลือกมีหลักอยู่ว่า โครโมโซมที่มีค่าผลลัพธ์เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของปัญหาที่กำลังสนใจก็จะมีโอกาสที่จะถูกเลือกไปรุ่นต่อไปสูง
- 2) **การผสมข้ามพันธุ์ (crossover)** เป็นการสร้างโครโมโซมตัวใหม่เพื่อให้แตกต่างจากโครโมโซมรุ่นเก่าซึ่งการทำเช่นนี้เป็นการสร้างโอกาสที่จะทำให้เกิดโครโมโซมใหม่ที่ดีกว่าตัวเก่าที่เลือกมา ซึ่งวิธีการแลกเปลี่ยนเงินเป็นการนำเงินจากคู่โครโมโซมที่ดีที่สุดจากรุ่นที่แล้วมาทำการแลกเปลี่ยน

จิ้นกัน

- 3) การเปลี่ยนแปลงจิ้นที่ได้มาโดยไม่มีเหตุผลหรือการกลายพันธุ์ (mutation) เมื่อได้โครโมโซมตัวใหม่มาแล้วก็จะหาโอกาสที่จิ้นแต่ละตัวของโครโมโซมตัวใหม่มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นค่าอื่นโดยไม่จำเป็นต้องมีเหตุผลใดๆ สนับสนุนการเปลี่ยนแปลงนั้น

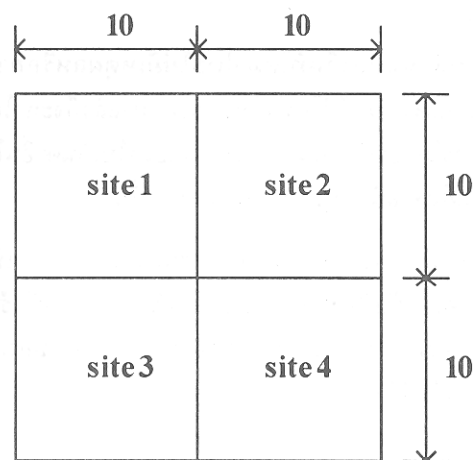
การปฏิบัติการทางเจเนติกอัลกอริทึมก็เช่นเดียวกัน เป็นส่วนที่ต้องเขียนโปรแกรมขึ้นมาให้สอดคล้องกับปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุดและในการเขียนโปรแกรมจำเป็นต้องมีการทดลองค่าโอกาสต่างๆ หรือค่าเปอร์เซนต์ที่จะทำให้เกิดโครโมโซมตัวที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

การหยุดการค้นหา

ในการทำงานของกลไกทางเจเนติกอัลกอริทึม คือ จะต้องมีการเขียนโปรแกรมการทำงานดังกล่าวขึ้นมา ดังนั้น กลไกจะเริ่มทำงานได้ด้วยการสุ่มจำนวนประชากรของคำตอบเริ่มต้นขึ้นมา โดยที่ตัวโปรแกรมจะต้องมีการกำหนดจำนวนประชากรในแต่ละรุ่นว่าให้มีกี่จำนวนเช่น 50 100 หรือ 1,000 เป็นต้น การกำหนดจำนวนประชากรในแต่ละรุ่นจะมีผลในการหาคำตอบที่น่าพึงพอใจที่สุด กล่าวคือ ถ้ากำหนดจำนวนน้อยการทำงานของโปรแกรมจะทำได้เร็ว แต่คำตอบที่ได้อาจจะไม่ใกล้เคียงกับคำตอบที่แท้จริง ในทางกลับกันถ้ากำหนดจำนวนมากโปรแกรมก็จะทำงานช้า แต่คำตอบที่ได้มีโอกาสที่จะเข้าใกล้คำตอบที่แท้จริงสูง จากนั้นต้องกำหนดจำนวนรุ่นว่าจะให้กลไกทำงานไปเรื่อยๆ จนได้จำนวนรุ่นประชากรเท่ากับที่ต้องการ ความมากน้อยของจำนวนรุ่นมีผลเหมือนกับค่าจำนวนประชากรในแต่ละรุ่น เมื่อโปรแกรมกำเนิดได้จำนวนรุ่นที่ต้องการแล้ว โปรแกรมก็เลือกคำตอบที่ดีที่สุดจากทั้งหมดมาแล้วก็จะหยุดการทำงาน

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้เทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม

ตัวอย่างอย่างง่ายที่จะดัดแปลงเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการแก้ปัญหา คือ ปัญหาการวางผังสถานที่ทำงานภายในโรงงานแห่งหนึ่งว่าจะกำหนดให้แต่ละแผนกอยู่ ณ ตำแหน่งใด เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนย้ายระหว่างแผนกต่ำที่สุด โดยมีข้อมูลดังนี้ จำนวนสถานที่ทำงานมี 4 แผนกให้เป็นแผนก ก ข ค และ ง จำนวนพื้นที่ย่อยมี 4 พื้นที่ภายในโรงงานโดยกำหนดเป็น site 1 site 2 site 3 และ site 4 ตามลำดับ โดยตำแหน่งพื้นที่แสดงในรูปที่ 2 ดังนั้น ฟังก์ชันเป้าหมายแสดงไว้ดังสมการที่ (2)



รูปที่ 2 The position of each site to fit 4 workstations

$$\text{Min.}Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij} d_{ij} c_{ij} \quad (2)$$

โดย f_{ij} คือ จำนวนการเคลื่อนที่จากแผนก i ไป j , หน่วย เที่ยว
 d_{ij} คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างแผนก i ไป j , หน่วย เมตร
 c_{ij} คือ ต้นทุนต่อหน่วยระยะทางจากแผนก i ไป j , หน่วย บาทต่อเมตร
 n คือ จำนวนแผนก i, j คือ 1, 2, ..., 4

เงื่อนไขสำหรับปัญหานี้คือ

- ก) ทุกพื้นที่ย่อยต้องมีแผนกใดแผนกหนึ่งอยู่ ณ พื้นที่นั้น
- ข) แต่ละแผนกสามารถอยู่ ณ พื้นที่ย่อยได้พื้นที่เดียวเท่านั้น

นอกจากนี้แล้วยังมีข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณคือ จำนวนเที่ยวการเคลื่อนที่ระหว่างแผนก ปริมาณระยะทางระหว่างพื้นที่ย่อย และต้นทุนต่อหน่วยระยะทาง ดังแสดงในตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 4 ตามลำดับ ในการคิดระยะทางระหว่างพื้นที่ย่อยให้คิดจากจุดกึ่งกลางของพื้นที่ย่อยหนึ่งเดินไปตามเส้นขอบไป ณ จุดกึ่งกลางของอีกพื้นที่ย่อยหนึ่ง โดยเลือกเส้นที่สั้นที่สุด จากข้อมูลที่ให้มาทั้งหมดต่อไปจะเป็นการทำงานของเทคนิค เจเนติกอัลกอริทึมโดยลำดับดังนี้

ตารางที่ 2
ปริมาตรของการส่งผ่านระหว่างแต่ละสถานี

From To	ก	ข	ค	ง
ก	-	20	50	10
ข	15	-	5	30
ค	25	10	-	50
ง	10	5	20	-

ตารางที่ 3
ระยะระหว่างแต่ละพื้นที่ย่อย (site, meter)

From To	1	2	3	4
1	-	10	10	20
2	10	-	20	10
3	10	20	-	10
4	20	10	10	-

ตารางที่ 4
ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยระยะทางระหว่างแต่ละพื้นที่ย่อย (Baths/meter)

From To	1	2	3	4
1	-	5	10	5
2	5	-	15	20
3	10	15	-	5
4	5	20	5	-

การให้รหัสโครโมโซม

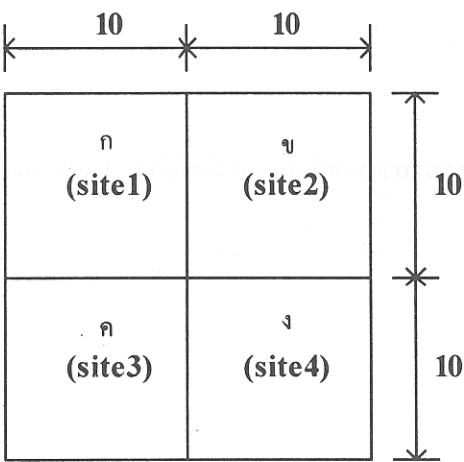
เนื่องจากพื้นที่ย่อยมี 4 พื้นที่ ดังนั้น ตำแหน่งของจีนจะมี 4 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งแรกทางซ้ายมือสุดให้แทน site 1 จีนตำแหน่งที่ 2 แทนพื้นที่ย่อย site 2 จีนตำแหน่งที่ 3 แทนพื้นที่ย่อย site 3 และจีนตำแหน่งที่ 4 หรือตำแหน่งสุดท้ายแทนพื้นที่ย่อย site 4 ในแต่ละตำแหน่งของจีนอักขระที่เป็นไปได้มี 4 ตัว คือ ก ข ค หรือ ง ซึ่งจะใช้แทนชื่อแผนกต่างๆ ตัวอย่างโครโมโซม คือ ก ข ค ง การแปรความของโครโมโซมนี้คือ ณ พื้นที่ย่อย site 1 มีแผนก ก อยู่ พื้นที่ย่อย site 2 มีแผนก ข อยู่ พื้นที่ย่อย site 3 มี

แผนก ค อยู่ และพื้นที่ย่อย site 4 มีแผนก ง อยู่ เป็นต้น สำหรับปัญหาลักษณะนี้ตัวอย่างโครโมโซมที่เป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ คือ ก ก ข ง เนื่องจากว่ามีแผนก ก อยู่ ณ พื้นที่ย่อย site 1 และ 2 ซึ่งในความเป็นจริงเป็นไปได้

การคำนวณค่าผลลัพธ์จากฟังก์ชันเป้าหมาย

จากโครโมโซมตัวอย่างสามารถแปลความ และแสดงเป็นผังสถานที่ทำงานได้ดังรูปที่ 3 ซึ่งจากผังดังกล่าวสามารถคำนวณค่าผลลัพธ์จากฟังก์ชันเป้าหมายได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Z &= f_{กข}d_{12}c_{12} + f_{กค}d_{13}c_{13} + f_{กง}d_{14}c_{14} + f_{ขค}d_{21}c_{21} + f_{ขค}d_{23}c_{23} \\ &\quad + f_{ขง}d_{24}c_{24} + f_{คก}d_{31}c_{31} + f_{คข}d_{32}c_{32} + f_{คก}d_{34}c_{34} + f_{คก}d_{41}c_{41} + f_{คข}d_{42}c_{42} \\ &\quad + f_{คค}d_{43}c_{43} \\ &= 20 \times 10 \times 5 + 50 \times 10 \times 10 + 10 \times 20 \times 5 + 15 \times 10 \times 5 + 5 \times 20 \times 15 + \\ &\quad 30 \times 10 \times 20 + 25 \times 10 \times 10 + 10 \times 20 \times 15 + 50 \times 10 \times 5 + 10 \times 20 \times 5 + \\ &\quad 5 \times 10 \times 20 + 20 \times 10 \times 5 \\ &= 26,250 \text{ บาท} \end{aligned}$$



รูปที่ 3 Layout's solution form chromosome กข

แสดงว่าค่าความเหมาะสมหรือค่าฟังก์ชันเป้าหมายของโครโมโซม ก ข ค ง คือ 26,250 บาท ในส่วนต่อไปจะเป็นการอธิบายถึงกลไกการทำงานของเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม

กลไกการทำงานของเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม

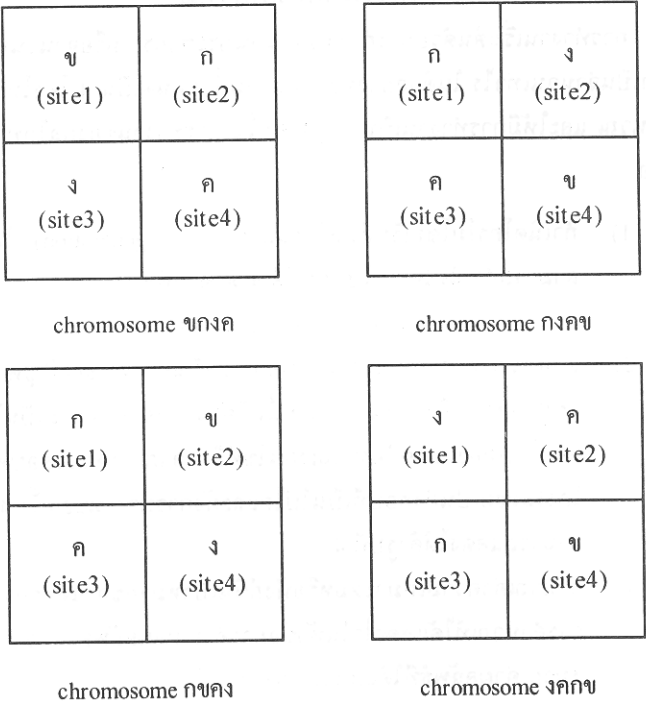
การทำงานเริ่มต้นด้วยการกำหนดจำนวนประชากร หรือจำนวนโครโมโซมต่อรุ่นก่อนว่าเป็นจำนวนเท่าไร ในตัวอย่างของบทความนี้กำหนดเป็น 4 โครโมโซม เพื่อง่ายในการคำนวณ และให้การทำงานเป็น 3 รุ่น ดังนั้น การทำงานของกลไกทางเจเนติกอัลกอริทึมคือ

- 1) กำเนิดโครโมโซมเริ่มต้นหรือรุ่นแรก (first generation) โดยวิธีการสุ่มสามารถกำเนิดโครโมโซมมา ได้ 4 ตัวดังนี้คือ
- ขกค กงคข กขคก และ งคกข
- 2) แปลความหมายของโครโมโซมออกมาเป็นคำตอบของปัญหาในที่นี้คือแผนผังสถานที่ทำงาน จากนั้นก็ต้องตรวจสอบความเป็นไปได้ของคำตอบโดยต้องสอดคล้องตามเงื่อนไขที่มี จากการตรวจสอบพบว่าทั้ง 4 โครโมโซมเป็นคำตอบที่เป็นไปได้และผังการทำงานของทั้ง 4 โครโมโซมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4
- 3) คำนวณค่าความเหมาะสมหรือฟังก์ชันเป้าหมายของแต่ละคำตอบตามวิธีการคำนวณที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อการคำนวณผลลัพธ์ จากฟังก์ชันเป้าหมาย ค่าผลลัพธ์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5
- 4) คำนวณเปอร์เซ็นต์ที่จะถูกเลือกไปยังรุ่นต่อไป เนื่องจากว่าปัญหาที่กำลังสนใจอยู่เป็นปัญหาที่ต้องการคำตอบทำให้เกิดค่าใช้จ่ายต่ำสุด แสดงว่าโครโมโซมตัวใดทำให้เกิดผลลัพธ์มีค่าน้อยที่สุด เปอร์เซนต์ที่จะถูกเลือกไปยังรุ่นต่อไปก็จะมากขึ้น ดังนั้นการคำนวณเปอร์เซ็นต์ที่จะถูกเลือกจะต้องคำนวณจากค่าส่วนกลับของค่าความเหมาะสม ดังแสดงการคำนวณเปอร์เซนต์ที่จะถูกเลือกในตารางที่ 6

ตารางที่ 5

Fitness values ของ first generation's chromosomes

No.	Chromosome	The fitness values (Baths)
1.	ขกค	31,250
2.	กงคข	40,750
3.	กขคก	26,250
4.	งคกข	37,750



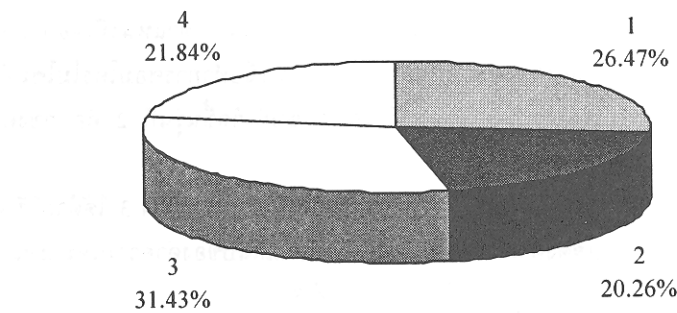
รูปที่ 4 Layout's solutions for chromosome ขกขค กขคข กขคง and งคกข

ตารางที่ 6

Fitness values, invert values และ percentages selected ของ chromosomes

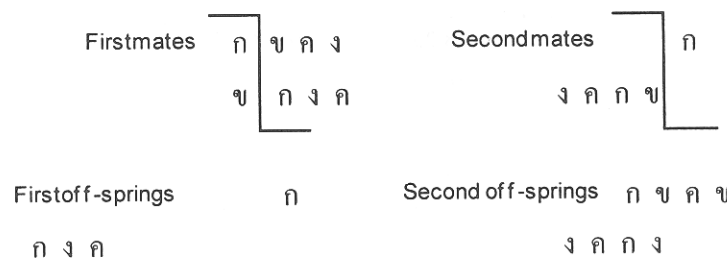
Chromosome	Fitness values	Invert values	Percentages selected
ขกขค	31,250	0.000032	26.47
กขคข	40,750	0.0000245	20.26
กขคง	26,250	0.000038	31.43
งคกข	37,750	0.0000264	21.84
Total	136,000	0.0001209	100.00

จากการคำนวณเปอร์เซ็นต์การถูกเลือกในตารางที่ 6 แล้วนำค่าดังกล่าวมาสร้างเป็นวงล้อเสี่ยงทายดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 roulette wheel กับ ขนาดของ slot ที่สอดคล้องกับค่า fitness

- 1) เลือกคู่โครโมโซมที่จะทำการสืบพันธุ์ไปยังรุ่นต่อไป โดยการหมุนวงล้อปรากฏว่า โครโมโซมคู่แรกที่ได้รับการคัดเลือกคือ กขค และ ขงค คู่ที่สองคือ กขค และ งคข ทำการคัดเลือก 2 คู่ เพื่อให้ได้โครโมโซมรุ่นที่ 2 เป็น 4 โครโมโซม
- 2) ผสมข้ามพันธุระหว่างคู่โครโมโซมที่เลือกได้ เพื่อจะได้กำเนิดโครโมโซมรุ่นใหม่ โดยการสุ่มตำแหน่งที่จะให้มีการแลกเปลี่ยนยีนกันในแต่ละคู่ ตัวเลขที่สุ่มได้คือ 1 และ 3 ตามลำดับ ดังนั้นการผสมข้ามพันธุจะแสดงได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 Crossover operator

- 3) ทำการสุ่มดูว่าจีนแต่ละตัวในโครโมโซมตัวใหม่ทั้ง 4 โครโมโซมมีการกลายพันธุ์หรือไม่ ผลการกลายพันธุ์สำหรับโครโมโซมตัวใหม่แสดงดังในตารางที่ 7
- 4) ตรวจสอบความเป็นไปได้ของคำตอบ ถ้าเป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ให้ซ่อมโดยเปลี่ยนค่าจีนแผนกที่ซ้ำกัน ณ ตำแหน่งที่เจอตำแหน่งหลังเปลี่ยนเป็นแผนกที่ยังขาดอยู่ ดังนั้น เมื่อทำการซ่อมโครโมโซมที่เป็นไปไม่ได้ปรากฏประชากรหรือโครโมโซมที่เกิดขึ้นรุ่นที่ 2 คือ กขงค ขคกง กขงค และ ขคกง
- 5) จากโครโมโซมรุ่นที่ 2 ทำการกำเนิดโครโมโซมรุ่นที่ 3 ได้ด้วยวิธีเดียวกัน โดยแสดงค่าความเหมาะสม ค่าส่วนกลับของค่าความเหมาะสม และเปอร์เซ็นต์การถูกเลือกในตารางที่ 8

ตารางที่ 7

การผิตรูปของการเกิด chromosome ลำดับที่ 2

ลำดับ	Chromosome before mutation	Chromosome after mutation	หมายเหตุ
1.	กกงค	กกงค	No mutation
2.	ขขคง	ขคกง	Mutation at 2 nd position
3.	กขคข	กขงข	Mutation at 3 rd position
4.	งคกง	ขคกง	Mutation at 1 st position

ตารางที่ 8

The fitness values, invert of the fitness, and percentages selected of the second chromosomes

ลำดับ	Chromosome	Fitness values	Invert of the fitness	Percentages selected
1.	กขงค	28,250	0.000035	29.41
2.	ขคกง	36,750	0.000027	22.69
3.	กขงค	28,250	0.000035	29.41
4.	ขคกง	45,250	0.000022	18.49
Total		138,500	0.000119	100.00

- 6) คูโครโมโซมที่ถูกเลือกเพื่อนำมาผสมข้ามพันธุ์มี 2 คู่ คือ กขกค กับ ขกคก และ กขกค กับ ขคกค
- 7) ทำการสุ่มตำแหน่งที่มีการผสมข้ามพันธุ์ตำแหน่งที่ได้คือ 2 และ 3 ดังนั้นโครโมโซมหลังจากการผสมข้ามพันธุ์ของคูโครโมโซมแรกคือ กขคก และ ขกคค ซึ่งเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งคู่ ส่วนโครโมโซมหลังจากการผสมข้ามพันธุ์ของคูโครโมโซมคู่ที่ 2 คือ กขกค และ ขคกค ซึ่งเป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้
- 8) พิจารณาการกลายพันธุ์พบว่า หลังจากทำการสุ่มการกลายพันธุ์ของแต่ละตำแหน่งเงินของทุกโครโมโซมแล้วพบว่าผลที่ได้ คือ กขคก ขกคค กขคค ขคกค
- 9) เมื่อตรวจสอบแล้วพบว่าโครโมโซมสุดท้ายเป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้จึงได้มีการซ่อมโครโมโซมสุดท้าย ผลที่ได้ คือ ขคกค
- 10) ทำการคำนวณค่าความเหมาะสมหรือฟังก์ชันเป้าหมายของโครโมโซมทั้ง 4 ตัว ในรุ่นที่ 3 ได้ดังตารางที่ 9
- 11) เลือกโครโมโซมที่ทำให้เกิดคำตอบมีค่าต่ำสุดจากโครโมโซมทั้งหมดที่ได้กำเนิดมาทั้ง 3 รุ่น จากตัวอย่างพบว่าโครโมโซมที่ดีที่สุดคือ กขคก ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นต่ำสุด ณ ขณะนี้คือ 26,250 บาท

ตารางที่ 9

ค่า fitness values ของการเกิดในลำดับที่ 3

ลำดับ	Chromosome	The fitness value
1.	กขคก	26,250
2.	ขกคค	31,250
3.	กขคค	26,250
4.	ขคกค	45,250

จากตัวอย่างที่ได้นำเสนอในบทความนี้จะเห็นว่า โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมต่ำจะมีโอกาสถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปได้ และมีโอกาสที่มีการพัฒนาโครโมโซมให้ดีขึ้นเรื่อยๆ ในแต่ละรุ่นการกำเนิดโครโมโซม

สรุป

ในบทความนี้ได้มีการนำเสนอเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม ในการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้มีจำนวนมาก ซึ่งการแก้ปัญหาในลักษณะนี้ด้วยวิธีการที่หาคำตอบที่เป็นไปได้มาทั้งหมด แล้วเลือกคำตอบที่ดีที่สุดมานั้นเป็นเรื่องที่เป็นไปได้อ่อนแอและเสียเวลามาก ดังนั้น การใช้วิธีการแบบฮิวริสติก ซึ่งเป็นวิธีการหาคำตอบที่น่าพึงพอใจที่สุดจากกลุ่มคำตอบที่สุ่มมาได้ทั้งหมด เป็นวิธีการที่ใช้ได้ดีในปัจจุบัน เนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาในการหาคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด วิธีการแบบฮิวริสติกมีอยู่หลายวิธีด้วยกันซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมก็เป็นวิธีการหนึ่ง ที่มีกระบวนการทำงานไม่ซับซ้อนง่ายในการเข้าใจและทำงาน และสามารถดัดแปลงใช้กับปัญหาได้หลากหลายประเภท นอกจากนี้แล้วในบทความยังมีการเสนอตัวอย่างการวางผังในโรงงาน โดยมีการดัดแปลงใช้เทคนิคเจเนติกอัลกอริทึมในการหาผังการทำงานที่น่าพึงพอใจที่สุด ใช้เป็นตัวอย่างอย่างง่ายในการแสดงกระบวนการทำงานของเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม ในการแก้ปัญหาจากตัวอย่างพบว่า เทคนิคเจเนติกอัลกอริทึมเป็นเทคนิคที่มีกระบวนการแก้ปัญหาที่ง่ายและสามารถใช้ในการหาคำตอบที่ดีขึ้นได้

หนังสืออ้างอิง

- Goldberg, E.D. 1989. **Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning**. Massachusetts: Addison-Wesley.
- Man, K.F., Tang, K.S. and Kwong, S. 1999. **Genetic Algorithms Concepts and Designs**. Great Britain: Springer-Verlag London.
- Mazumder, P. and Rudnick, M.E. 1999. **Genetic Algorithms for VLSI Design, Layout & Test Automation**. New Jersey: Prentice Hall PTR.
- Quagliarella, D., Periaux, J., Poloni C. and Winter, G. 1998. **Genetic Algorithms and Evolution Strategy in Engineering and Computer Science**. New York: John Wiley & Sons.