

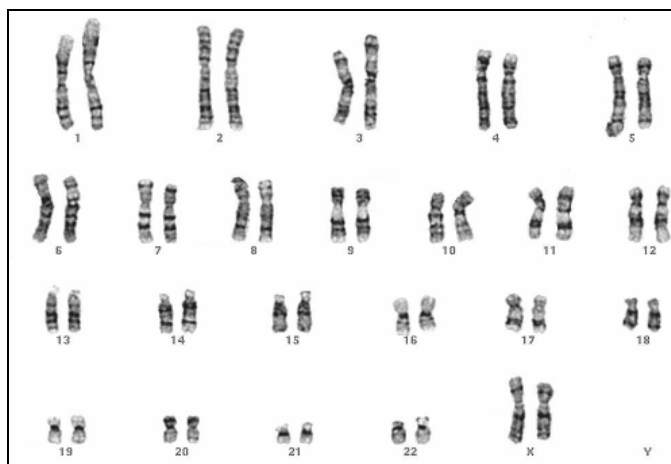
บทที่ 3

ความรู้เบื้องต้นของจีเนติกและอีวิริสติกอัลกอริทึม

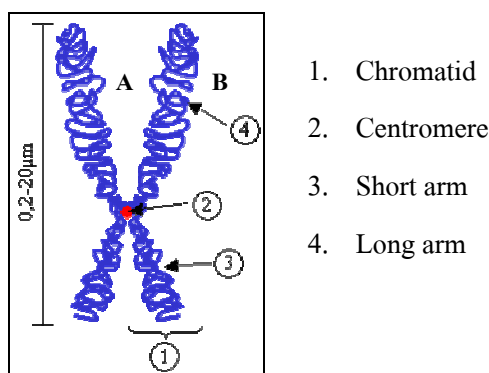
ในปัจจุบันการหาคำตอบของปัญหาบางประเภท ไม่ว่าจะเป็นปัญหาทางด้านวิทยาศาสตร์ หรือทางคอมพิวเตอร์ สามารถหาคำตอบได้หลายวิธี โดยปัญหาส่วนใหญ่ที่พบจะเป็นปัญหาที่ไม่เที่ยงตรงและคลุมเครือ ซึ่งหากต้องการคำตอบที่เที่ยงตรงและมีความแน่นอนสูงมากก็ย่อมมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก อีกทั้งยังใช้เวลานานในการหาคำตอบ ซึ่งในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้นำความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีหรือกฎเกณฑ์ทางธรรมชาติเข้ามาช่วยในการหาคำตอบหรือศึกษาวิจัยเพิ่มมากขึ้น เช่น ระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) จีเนติก อัลกอริทึม (Genetic Algorithms) เป็นต้น โดยจีเนติก อัลกอริทึมเป็นวิธีการที่จำลองรูปแบบวิธีการทางชีววิทยา ในการให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่หรือขยายเผ่าพันธุ์ในรุ่นลูก รุ่นหลานต่อไป โดยอาศัยพื้นฐานความคิดของวิวัฒนาการทางธรรมชาติถ่ายทอดลักษณะต่างๆทางพันธุกรรม โดยปฏิบัติตามกระบวนการทางพันธุศาสตร์ เพื่อจะใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่สุดของปัญหาโดยคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ยังมีอีกวิธีการหนึ่งคืออีวิริสติก (Heuristic) เป็นอัลกอริทึมที่ไม่สามารถรับประกันคุณภาพของคำตอบได้ว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุดและ/หรือ ไม่สามารถรับประกันช่วงเวลาในการหาคำตอบว่าหาได้ภายในเวลาที่กำหนด แต่วิธีนี้จะเป็วิธีที่ง่ายที่สุดในการหาคำตอบ ซึ่งอาจได้คำตอบที่ไม่ดีนัก แต่คำตอบที่ได้ก็จะใกล้เคียงและสามารถยอมรับได้

3.1 พันธุศาสตร์ทางชีววิทยา

เมนเดล บิดาแห่งวิชาพันธุศาสตร์ ค้นพบว่าลักษณะต่างๆของสิ่งมีชีวิต เช่น ลักษณะผิวของเมล็ดพืช สีของเมล็ดพืช เป็นต้น ที่ถูกถ่ายทอดไปยังลูกหลานนั้นถูกควบคุมโดยหน่วยควบคุมลักษณะที่เรียกว่ายีนส์ (Gene) ซึ่งยีนส์หลายๆยีนส์จะเรียงตัวกันอยู่บนเส้นโครโมโซม (Chromosome) ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยจะอยู่กันเป็นคู่ๆ แต่จะแตกต่างกันที่ค่าลักษณะย่อยต่างๆ โดยลักษณะย่อยของยีนส์จะเรียกว่าอัลลีล (Allele) และตำแหน่งของยีนส์แต่ละยีนส์บนโครโมโซมเรียกว่า โลกัส (Locus) ซึ่งแบบต่างๆของยีนส์ที่มีแอลลีต่างกันในแต่ละตำแหน่งยีนส์เดียวกันเรียกว่า จีโนไทป์ (Genotype) สำหรับลักษณะภายนอกที่ปรากฏออกมาให้เห็น เรียกว่า ฟิโนไทป์ (Phenotype) เช่น ในคนจะมีโครโมโซม 23 คู่ 46 โครโมโซม ซึ่งแต่ละโครโมโซมจะประกอบด้วยยีนส์ต่างๆกันราว 1250 ยีนส์ ตัวอย่างคู่โครโมโซมที่ 1 ในคน ซึ่งประกอบด้วยยีนส์ลักษณะสีผม สีผิว สีตา และอื่นๆอีกประมาณ 1247 ลักษณะ แอลลีของยีนส์ลักษณะสีผม คือ ผมสีดำ ส่วนโครโมโซม 1B มีแอลลีของยีนส์ลักษณะสีผม คือ ผมสีบลอนด์ [7] [8]



รูปที่ 3.1 แสดงโครโมโซมของเพศหญิง

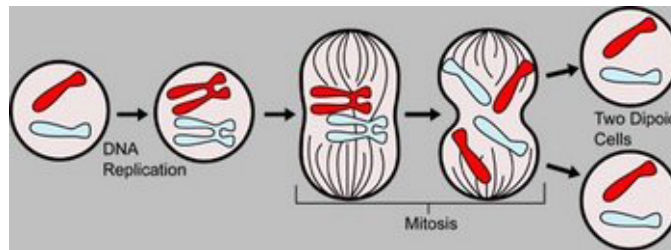


รูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบของโครโมโซม

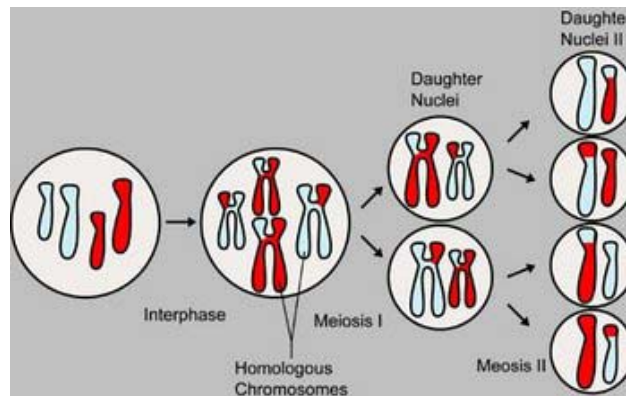
การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมเป็นการถ่ายทอดลักษณะต่างๆของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นเมื่อมีการแบ่งตัวของเซลล์สิ่งมีชีวิต ซึ่งมี 2 แบบคือ

1. การเพิ่มจำนวนเซลล์ เป็นการแบ่งตัวแบบไมโทซิส(Mitosis) โดยโครโมโซมแต่ละตัวจะขยายตัวเพิ่มจำนวนตัวเองขึ้นเป็นสอง และเยื่อหุ้มนิวเคลียส จะสลายลงเพื่อดึงแยกโครโมโซมที่เพิ่มจำนวนขึ้นออกจากโครโมโซมเพิ่มเป็นสองด้าน แล้วเยื่อหุ้มนิวเคลียสจะถูกรังสร้างขึ้นมาใหม่ กลายเป็นเซลล์ใหม่ 1 เซลล์ที่มีโครโมโซมเหมือนเดิม ดังรูปที่ 3.3

2. การแบ่งตัวของเซลล์สืบพันธุ์ เป็นการแบ่งตัวแบบไมโอซิส(Meiosis) โดยโครโมโซมจากเซลล์พ่อ 1 โครโมโซมและโครโมโซมจากเซลล์แม่ 1 โครโมโซม จะเริ่มจับคู่กันที่โครโมโซมชนิดเดียวกัน ในขณะที่เดียวกันโครโมโซมแต่ละตัวทั้งที่มาจากพ่อและมาจากแม่ ต่างก็จำลองแบบของตนเพิ่มขึ้นมาอีกแต่ละโครโมโซม ทำให้ได้จำนวนโครโมโซมทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า และดำเนินการทางพันธุกรรมจนถึงระยะแบ่งตัว โครโมโซมพ่อพร้อมกันแบบจำลองและโครโมโซมแม่พร้อมกันแบบจำลองที่ได้จะแยกคู่ไปรวมกันเป็น 2 นิวเคลียส กลายเป็นเซลล์ใหม่ 2 เซลล์ ซึ่งจะแบ่งตัวต่อทันที โดยแต่ละโครโมโซมพ่อแยกตัวออกจากแบบจำลองและโครโมโซมแม่ก็แยกตัวออกจากแบบจำลองรวมกันเป็นเซลล์ใหม่ 4 เซลล์ ดังรูปที่ 3.4

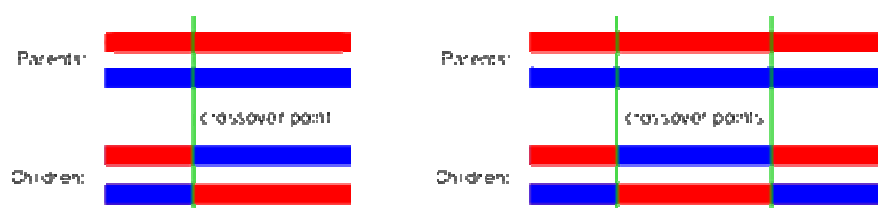


รูปที่ 3.3 แสดงการแบ่งตัวของเซลล์แบบไมโทซิส



รูปที่ 3.4 แสดงการแบ่งตัวของเซลล์แบบไมโอซิส

วิธีการทางพันธุศาสตร์ในระหว่างที่เกิดการแบ่งตัวของไมโอสิสนั้น โครโมโซมจะมีโอกาสแลกเปลี่ยนส่วนบางส่วนซึ่งกันและกัน อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่าครอสโอเวอร์ของลักษณะต่างๆขึ้น ซึ่งการครอสโอเวอร์นั้นเกิดขึ้นขณะที่มีการจำลองแบบเพิ่มขึ้น และเกิดขึ้นระหว่างโครโมโซมพ่อกับโครโมโซมแม่ ไม่ใช่เกิดขึ้นระหว่างโครโมโซมพ่อกับแบบจำลอง ซึ่งการครอสโอเวอร์จะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนลักษณะของยีสต์ต่างๆของคู่โครโมโซมพ่อกับแม่ โดยเนื่องจากยีนส์แต่ละยีนส์เรียงตัวกันบนเส้นโครโมโซมนั้นไม่ได้อยู่กันอย่างหนาแน่น แต่มีระยะห่างกันอย่างไม่สม่ำเสมอ เพราะคุณสมบัติของยีนส์นั้นเป็นโมเลกุลของสารโปรตีนประกอบตัวกันทางเคมี ช่องว่างระหว่างยีนส์นี้เองจะเป็นตำแหน่งที่แตกออกมาได้เวลาจะครอสโอเวอร์ และแลกเปลี่ยนยีนส์ของโครโมโซมโดยส่วนที่อยู่หลังรอยแตก โดยจะถูกย้ายไปอยู่อีกโครโมโซมหนึ่งทั้งหมด นอกจากนี้ยังสามารถแตกอีกที่แห่งก็ได้ ซึ่งผลนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถที่จะเชื่อมกันมากน้อยเพียงไรของช่องว่างระหว่างยีนส์



รูปที่ 3.5 แสดงการครอสโอเวอร์ระหว่างโครโมโซม

ประโยชน์ที่เกิดจากครอสโอเวอร์ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.5 แสดงให้เราเห็นถึงการทำให้มีโอกาสดังได้ลักษณะต่าง ๆ กันมาอยู่รวมกันได้หลายแบบมากขึ้น ทำให้สิ่งมีชีวิตรุ่นลูกที่เกิดขึ้นมามีความหลากหลายมากขึ้น และอาจทำให้มีโอกาสดังสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะต่าง ๆ ที่ดีพอเหมาะสมอยู่ด้วยกันได้อย่างพอดี เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อม ถ้าการเกิดเซลล์ใหม่โดยถ่ายทอดโครโมโซมไม่มีการครอสโอเวอร์แล้ว โครโมโซมใดเคยมียีนส์ลักษณะใดก็จะมีลักษณะนั้นอยู่เรื่อย ๆ รุ่นลูกก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน โอกาสที่สิ่งมีชีวิตนั้นจะเจริญหรือปรับตัวให้ดีขึ้นย่อมมีได้ยากกว่าการเปลี่ยนลักษณะยีนส์ใหม่หลาย ๆ แบบมากขึ้น

ลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตจะสามารถอยู่รอดได้โดยการคัดเลือกทางธรรมชาติคือคัดเลือกโครโมโซมที่มีลักษณะที่ทำให้สิ่งมีชีวิตแข็งแรงเพียงพอ หรือเหมาะสมต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งจะสามารถอยู่รอดและถ่ายทอดไปยังลูกหลาน ดังนั้นการคัดเลือกของธรรมชาติเพื่อถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม เป็นเพียงส่วนประกอบของการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตเท่านั้น มิใช่ขั้นตอนหรือการผ่าเหล่า คือการเปลี่ยนแปลงลักษณะของยีนส์ไปจากเดิมที่ควรเป็นไปตามการถ่ายทอด ซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดลักษณะที่แปลกๆ ออกไปมากมายสำหรับสิ่งมีชีวิตหนึ่งๆ ซึ่งเท่ากับเป็นการให้โอกาสแก่ธรรมชาติในการที่จะเลือกลักษณะแปลกๆ มากขึ้น เนื่องจากขบวนการวิวัฒนาการโดยธรรมชาติเองนั้นช้ามาก เพราะกว่าที่ธรรมชาติจะปรับสภาพแวดล้อมให้สิ่งมีชีวิตค่อยๆ ปรับตัวเองให้เหมาะสมนั้นมีโอกาสน้อยมาก การผ่าเหล่านั้นทุกลักษณะในแต่ละยีนส์ย่อมมีโอกาสดังจะเกิดความเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมได้พอๆ กัน และถ้าเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมขณะนั้นก็จะคงอยู่ต่อไป แต่ถ้าการเปลี่ยนแปลงเป็นลักษณะใดเกิดผิดจังหวะก็อาจไม่เหมาะสมกับสภาพขณะนั้นๆ ก็จะไม่ถูกคัดเลือกและหายไป ซึ่งข้อสรุปนี้ได้จากการทดลองโดยการนำเอายีนส์ของแบคทีเรียมาผสมกัน และจัดสภาพแวดล้อมที่ไม่อำนวยต่อการผสมกันแล้ว ยีนส์จะปรับตัวเองเพื่อเร่งขบวนการผสมพันธุ์จนได้ผลดีในรุ่น และในปัจจุบันลักษณะใหม่ที่เกิดจากการผ่าเหล่ายังคงมีให้เห็นอยู่ เช่น ความสามารถของเชื้อโรคแบคทีเรียในการต้านทานต่อยาฆ่าเชื้อ หรือเซลล์ผิดปกติอันเกิดจากกัมมันตภาพรังสีต่างๆ ซึ่งมีผลต่อสารภายในเซลล์ทำให้ลักษณะของยีนส์ในเซลล์เปลี่ยนไป

3.2 อัลกอริทึมจินเนติก

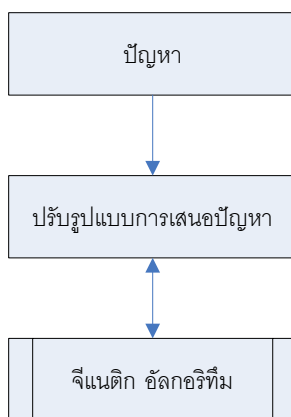
เป็นทฤษฎีที่จำลองกระบวนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ (Natural Evolution) คือการคัดเลือกทาง ธรรมชาติ และอาศัยพื้นฐานความคิดทางพันธุกรรมในการถ่ายทอดลักษณะต่างๆ ไปยังรุ่นถัดไปที่สามารถนำมาพัฒนาใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัญหา จินเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการหาคำตอบโดยการพิจารณา และดำเนินการจากกลุ่มของคำตอบของปัญหาที่ถูกสร้างขึ้นมาโดยการเข้ารหัส คือการแปลงค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ (Parameters) ของปัญหาให้อยู่ในรูปโครงสร้างของโครโมโซมที่กำหนด เพื่อคัดเลือกโครโมโซมคำตอบที่เหมาะสม

สำหรับสร้างวิวัฒนาการของคำตอบให้ดีขึ้นตามกระบวนการทางพันธุศาสตร์ โดยการแลกเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ระหว่างโครโมโซมที่ถูกคัดเลือกอันจะทำให้คำตอบของปัญหาถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยในปี ค.ศ. 1975 John Holland [9] เริ่มสนใจศึกษาในทฤษฎีวิวัฒนาการทางธรรมชาติในการกำเนิดประชากร (Population) สิ่งมีชีวิตในรุ่นต่อไป โดยกระบวนการธรรมชาติทางชีววิทยาประกอบด้วยการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) คือสิ่งมีชีวิตใด แข็งแรงกว่า ย่อมมีโอกาสอยู่รอดได้มากกว่านั้นหมายถึงการมีโครโมโซมซึ่งประกอบด้วยยีนส์ต่างๆ ที่มีลักษณะที่ดีนั้นจะมีโอกาสอยู่รอดได้มากกว่า โครโมโซมที่สามารถอยู่รอดได้ก็จะถูกถ่ายทอดยีนส์ที่มีลักษณะที่ดีเหล่านั้นไปยังลูกหลานได้มากกว่าเช่นกัน และกระบวนการทางพันธุศาสตร์ (Genetic Operation) คือการกำเนิดโครโมโซมใหม่โดยการผสมพันธุ์เพื่อถ่ายทอดยีนส์จาก ครอส โอเวอร์หรือกลายพันธุ์จากมิวเตชัน

จากความเชื่อในวิวัฒนาการทางธรรมชาติที่แสดงถึงคุณลักษณะที่เป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิต โดยการถ่ายทอดลักษณะต่างๆบนโครโมโซมนั้นมีคุณสมบัติทั่วไปที่ยอมรับกันคือ [10] [11]

1. วิวัฒนาการเป็นผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเปลี่ยนแปลงบนโครโมโซมที่เป็นอยู่ซึ่งแสดงลักษณะของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ
2. ธรรมชาติทางการคัดเลือกมีความสัมพันธ์กับโครโมโซมที่แสดงถึงประสิทธิภาพของโครงสร้างที่ดี ที่จะคัดเลือกเพื่อถ่ายทอดส่วนของโครงสร้างที่ดี
3. การถ่ายทอดในขณะที่เกิดวิวัฒนาการนั้น โครโมโซมพ่อ-แม่มีการแลกเปลี่ยนส่วนโครงสร้างกันเพื่อสร้างโครโมโซมลูกและเหตุผลที่ทำให้เกิดโครโมโซมลูกที่แตกต่างกันออกไปคือขบวนการผ่าเหล่า
4. วิวัฒนาการทางธรรมชาติมิได้เป็นสิ่งที่เกิดจากความจดจำ แต่เป็นกระบวนการที่เกิดจากโครงสร้างต่างๆในโครโมโซมที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นในขณะนั้น

Holland คิดว่าแนวคิดจากคุณสมบัติเหล่านี้ น่าจะนำมาปรับใช้กับคอมพิวเตอร์ให้ช่วยแก้ปัญหาที่ยุ่งยากต่างๆในการหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่สุด เขาจึงได้ทำการวิจัยโดยจำลองแบบเพื่อทดลองกับปัญหาแบบต่างๆ โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาระบบปรับปรุงการประมวลผลเอง (self adaptive process) และเพื่อสร้างโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญ (artificial system software) เพื่อแก้ปัญหา โดยอาศัยแนวความคิดของระบบทางธรรมชาติและค้นพบวิธีการใหม่ซึ่งเรียกว่าจีเนติก อัลกอริทึม (Genetic Algorithms: GA) [12] [13]



รูปที่ 3.6 แสดงหลักการเบื้องต้นของอัลกอริทึมจีเนติก

รูปที่ 3.6 แสดงหลักการเบื้องต้นในการใช้จีเนติก อัลกอริทึมแก้ปัญหา โดยจะต้องมีการปรับปรุงรูปแบบปัญหาในการนำเสนอจีเนติก อัลกอริทึมในลักษณะที่เหมาะสม เพราะจีเนติก อัลกอริทึมเป็นวิธีการค้นหาคำตอบโดยอาศัยวิธีการเลียนแบบการคัดเลือกทางธรรมชาติ และธรรมชาติทางพันธุกรรมโดยการรวมกันหรือสลับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆอันเป็นองค์ประกอบโครงสร้างของปัญหาที่ให้คำตอบที่ต้องการซึ่งอาศัยหลักการสุ่ม เพื่อปรับปรุงความสามารถในการค้นหาคำตอบที่ดีขึ้น การค้นหาคำตอบจากรุ่นหนึ่งไปรุ่นถัดไปตามวิวัฒนาการทางธรรมชาตินั้น คำตอบในรุ่นใหม่เกิดขึ้นจากการสร้างความสัมพันธ์ขึ้น จะเห็นได้ว่าวิธีการพื้นฐานของจีเนติก อัลกอริทึมเป็นแบบการสุ่ม แต่มีหลักการและประสิทธิภาพจากการคาดเดาคำตอบใหม่จากสถิติคำตอบเดิมที่ดี ซึ่งแตกต่างจากวิธีการทั่วไปคือ

1. GA ค้นหาคำตอบภายใต้โครงสร้างของปัญหาอันเกิดจากการกำหนดรหัส (coding) รูปแบบโครงสร้างจากกลุ่มตัวแปรต่างๆของปัญหานั้น ไม่ใช่ค้นหาคำตอบจากค่าของกลุ่มตัวแปรนั้น
 2. GA ค้นหาคำตอบโดยพิจารณาจากประชากรคำตอบหรือกลุ่มคำตอบ ไม่ใช่พิจารณาจากคำตอบใดคำตอบหนึ่ง
 3. GA ค้นหาคำตอบจากผลลัพธ์ของกลุ่มค่าตัวแปรที่เป็นฟังก์ชันเป้าหมายของปัญหา
- GA ค้นหาคำตอบโดยอาศัยการถ่วงน้ำหนักความเหมาะสมของแต่ละคำตอบจากกลุ่มคำตอบนั้นๆ

3.3 ฟังก์ชันเป้าหมายกับฟังก์ชันความเหมาะสม

การหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาของจีเนติก อัลกอริทึมมีพื้นฐานอยู่บนผลลัพธ์จากการหาคำตอบที่ผ่านมา วิธีการของจีเนติก อัลกอริทึมจะไม่พิจารณาจากขั้นตอนของการแก้ปัญหา แต่จะพิจารณาโดยตัดสินว่าคำตอบใหม่ที่ได้รับดีขึ้นหรือไม่ หรือเป็นคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ต้องการหรือไม่ จากฟังก์ชันเป้าหมาย (Object Function : f) เนื่องจากแต่ละปัญหาจะสามารถกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายซึ่งเป็นฟังก์ชันที่แสดงความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปร พารามิเตอร์

เงื่อนไขหรือข้อกำหนดต่างๆของปัญหานั้นๆที่ระบุคำตอบใดคำตอบหนึ่งที่สามารถเป็นไปได้ ณ ค่าพารามิเตอร์ เงื่อนไขหรือข้อกำหนดชุดดังกล่าว สำหรับฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function : F) เป็นฟังก์ชันที่กำหนดค่าความเหมาะสม (fitness) ของแต่ละโครโมโซมเปรียบเสมือนค่าความสามารถในการอยู่รอดของแต่ละโครโมโซมและเป็นฟังก์ชันที่กำหนดโอกาสหรือสัดส่วนที่แต่ละโครโมโซมเหมาะสมจะถูกคัดเลือกมาน้อยเพียงใด นั่นคือฟังก์ชันความเหมาะสมจะเป็นฟังก์ชันที่แสดงถึงค่าคำตอบที่เกิดขึ้นจากชุดตัวแปรของปัญหาของโครโมโซม นั่นคือเพียงใด โดยทั่วไปแล้วเรามักใช้ฟังก์ชันเป้าหมายเป็นฟังก์ชันความเหมาะสม หรืออาจใช้ฟังก์ชันเป็นหมายที่ถูกปรับให้เหมาะสมกับการนำเสนอจินตึก อัลกอริทึมเป็นฟังก์ชันความเหมาะสมก็ได้

3.4 รูปแบบโครโมโซม

ในการนำจินตคณิต อัลกอริทึมมาแก้ปัญหาจะมีการมองปัญหาเทียบเท่ากับโครโมโซมชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยยีนส์ลักษณะต่างๆ ซึ่งหมายถึงลำดับข้อมูลต่างๆที่แปลความหมายแล้วให้คำตอบของปัญหาค่าหนึ่ง การมองภาพยีนส์ของจินตคณิต อัลกอริทึมให้ถือเสมือนยีนส์ทางพันธุกรรมที่แสดงความหมายหรือเป็นตัวแทนคำตอบใดคำตอบหนึ่ง หรือลักษณะใดลักษณะหนึ่งทางกรรมพันธุ์ ในทางพันธุศาสตร์นั้นยีนส์เป็นตัวแสดงลักษณะที่อยู่รอดในสภาพแวดล้อมขณะนั้น สำหรับจินตคณิต อัลกอริทึมนั้นยีนส์เป็นตัวแสดงคำตอบของปัญหาที่แปรผันไปตามการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งโดยทั่วไปยีนส์หมายถึงตัวแปร พารามิเตอร์ เงื่อนไข หรือข้อกำหนดต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของปัญหา ดังนั้นการกำหนดรูปแบบโครโมโซมของแต่ละปัญหาโดยการแปลงตัวแปร พารามิเตอร์ เงื่อนไข หรือข้อกำหนดต่างๆให้อยู่ในรูปลำดับของยีนส์บนโครโมโซมหรือเรียกว่าสตริง (string) อันประกอบด้วยบิต (bit) หรือเรียกว่าอักขระ (character) ซึ่งลักษณะต่างๆที่เป็นได้ของแต่ละยีนส์คือค่าของบิต (bit Value) หรือค่าตัวแปร พารามิเตอร์ต่างๆที่เป็นไปได้ และรูปแบบของค่าบิตที่จัดเรียงบนโครโมโซม คือ จีโนไทป์ ที่จะแสดงถึงค่าของตัวแปรพารามิเตอร์ต่างๆที่เป็นไปได้ชุดหนึ่งหรือฟีโนไทป์นั่นเอง การกำหนดรูปแบบโครโมโซมของปัญหาให้เป็นตามแบบธรรมชาติ โดยกำหนดรหัสในรูปแบบตัวเลขหรือตัวอักษรในช่วงที่จำกัดตามค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ และประกอบรวมกันในจำนวนยีนส์หรือความยาวของโครโมโซมที่คงที่ เช่น หากต้องการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ $y = x^2$ ที่ x เป็นจำนวนเต็มอยู่ในช่วง $[0,31]$ แล้ว วิธีการของจินตคณิต อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาโดยกำหนดรูปแบบโครโมโซมจากการกำหนดรหัสตัวแปร x เป็นตัวเลขไบนารี 0 หรือ 1 จำนวน 5 ตำแหน่ง ซึ่ง x จะมีค่าตั้งแต่ 00000 ถึง 11111 เป็นค่า 0 ถึง 31 ตามต้องการ เป็นต้น

3.5 วัฏจักรของอัลกอริทึมจีเนติก

เมื่อกำหนดรูปแบบโครโมโซมและฟังก์ชันความเหมาะสมของปัญหาแล้ว จีเนติกอัลกอริทึมจะสามารถประมวลผลหาคำตอบของปัญหาได้ โดยสร้างวิวัฒนาการกลุ่มคำตอบในรุ่นต่อไปตามวัฏจักรการทำงานของอัลกอริทึมจีเนติก ซึ่งมี 4 ขั้นตอน คือ

1. สร้างประชากรโครโมโซมรุ่นเก่าตามรูปแบบโครโมโซมที่กำหนดไว้ โดยประชากรต้นกำเนิด (Initial Population) เกิดจากการสร้างชุดโครโมโซมต้นกำเนิด จากการสุ่มสร้างค่าแต่ละบิตของแต่ละโครโมโซม

2. วิเคราะห์ค่าความเหมาะสมแต่ละโครโมโซม โดยถอดรหัสค่าตัวแปร พารามิเตอร์ต่างๆของแต่ละบิตในโครโมโซม และคำนวณค่าความเหมาะสมจากฟังก์ชันความเหมาะสมที่กำหนดไว้

3. สร้าง mating pool คือชุดโครโมโซมต้นแบบหรือชุดโครโมโซมพ่อ-แม่ ที่สามารถอยู่รอดเป็นต้นแบบ ซึ่งอาศัยการจำลองการคัดเลือกทางธรรมชาติ โดยพิจารณาถ่วงน้ำหนักจากค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม หากโครโมโซมใดมีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีโอกาสถูกคัดเลือกเป็นต้นแบบมาก ส่วนโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมต่ำ ก็จะได้รับคัดเลือกน้อยหรือไม่ได้รับการคัดเลือกเลย

4. ดำเนินการทางพันธุศาสตร์โดยสุ่มจับคู่โครโมโซมต้นแบบใน mating pool เพื่อสร้างประชากรโครโมโซมรุ่นใหม่ ซึ่งตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ประกอบด้วย คrossover โดยการแลกเปลี่ยนค่าบิตบางส่วน of โครโมโซมซึ่งกันและกัน หรือ mutation โดยสุ่มเปลี่ยนค่าบิตบางบิตของแต่ละโครโมโซม เป็นต้น

การค้นหาคำตอบของอัลกอริทึมจีเนติกจะประมวลผลซ้ำตามวัฏจักรของอัลกอริทึมจีเนติก จนกว่าจะได้รับคำตอบที่พอใจตามกฎเกณฑ์ที่ตั้งไว้ หรือในระยะเวลาตามจำนวนรุ่นที่ดำเนินการที่ต้องการ ซึ่งแสดงอัลกอริทึมการทำงานของอัลกอริทึมจีเนติก [14] ในรูปที่ 3.7 ดังนี้

อัลกอริทึม

BEGIN

 $t := 0;$ Initpopulation $P(t);$ // สร้างประชากรโครโมโซมต้นกำเนิดโดยการสุ่มEvaluate $P(t);$ // วิเคราะห์ค่าความเหมาะสมแต่ละโครโมโซมประชากรต้น
//กำเนิดWhile not terminate // ตรวจสอบเงื่อนไขความพอใจ (เช่น เวลา
// หรือ ค่าความเหมาะสมเป็นต้น)

begin

 $t := t+1;$ $P'(t) := \text{Selectparents } P(t-1);$ // คัดเลือกโครโมโซมต้นแบบจากประชากรรุ่นก่อนRecombine $P'(t);$ // แลกเปลี่ยนส่วนยีนส์ภายในโครโมโซมต้นแบบMutate $P'(t);$ // มีวเตชันโครโมโซมต้นแบบEvaluate $P'(t);$ // วิเคราะห์ค่าความเหมาะสมของประชากรรุ่นใหม่ $P(t) := P'(t);$ // ประชากรรุ่นใหม่กลายเป็นประชากรรุ่นเก่าต่อไป

end;

END.

รูปที่ 3.7 แสดงอัลกอริทึมจินดิก

จินดิก อัลกอริทึมในยุคเริ่มแรกของ Holland นั่นคือ จินดิก อัลกอริทึมแบบง่าย (Simple Genetic Algorithm: SGA) ซึ่งมีขั้นตอนพื้นฐานที่มีกระบวนการไม่มากนักและง่ายในการศึกษา และทำความเข้าใจในแต่ละขั้นตอนการทำงานเพื่อแก้ปัญหาในการหาคำตอบ

ตัวอย่างปัญหาที่จะนำ SGA เข้ามาช่วยแก้ไขคือ ต้องการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน $f(x) = x^2$ โดยที่ x มีค่าอยู่ระหว่าง $[0, 31]$

โดยขั้นแรกต้องเตรียมการในการปรับรูปแบบของปัญหาให้เหมาะสมสำหรับการนำจินดิก อัลกอริทึมเข้ามาแก้ปัญหา ซึ่งจะมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม

ฟังก์ชันเป้าหมาย คือ $f = x^2$

ฟังก์ชันความเหมาะสม คือ $F = x^2$

ซึ่งคำตอบที่ดีที่สุด คือ ค่า x ที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด ($\text{MAX}(F)$)

2. กำหนดรูปแบบโครโมโซม

รูปแบบโครโมโซมของ SGA นั้นเป็นแบบไบนารี โดยค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ของปัญหาจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของไบนารีโครโมโซม คือประกอบด้วยบิตที่มีค่าเป็น 0 หรือ 1 ซึ่งเป็นค่าในเลขฐานสอง

จากตัวอย่าง จะมีการเข้ารหัสแบบไบนารี โดยแปลงค่าพารามิเตอร์ x ให้อยู่ในรูปไบนารี 5 บิต ดังนั้นจะได้ค่าพารามิเตอร์ของ x ที่มีค่าอยู่ในช่วง 00000 จนถึง 1111 (ซึ่งเมื่อถอดรหัสแล้วจะได้ค่า x ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 31)

การนำอัลกอริทึมจีเนติกมาใช้ในการแก้ปัญหา ประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

1. สร้างประชากรโครโมโซมรุ่นเก่า (Old Population)

เป็นชุดโครโมโซมที่จะถูกคัดเลือกไปเป็นต้นแบบสำหรับสร้างประชากรรุ่นใหม่ (New Population) ในวิวัฒนาการรุ่นต่อไป

เมื่อกำหนดวิธีการเข้ารหัสแล้ว จำเป็นที่จะต้องสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population) โดยกำหนดให้แต่ละรุ่นประกอบด้วย 4 โครโมโซม ซึ่งแต่ละโครโมโซมเกิดจากการสุ่มค่าไบนารี 0 หรือ 1 จำนวน 5 ครั้ง ซึ่งแสดงให้เห็นในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงชุดโครโมโซมในรุ่นเริ่มต้น

ลำดับ	โครโมโซม
1	0 1 1 1 0
2	1 1 0 0 1
3	0 1 0 0 0
4	1 0 0 1 1

2. วิเคราะห์ค่าความเหมาะสม

เป็นขั้นตอนของการถอดรหัสจากรูปแบบโครโมโซมที่กำหนดไว้ เพื่อคำนวณค่าความเหมาะสมตามฟังก์ชันความเหมาะสมของปัญหาของแต่ละโครโมโซม

จากฟังก์ชันเป้าหมาย คือ $f = x^2$ การวิเคราะห์ค่าความเหมาะสมจะเป็นการถอดรหัสเลขฐานสองของแต่ละโครโมโซมออกมาเป็นค่าของตัวแปร x และคำนวณค่าความเหมาะสมคือค่า x^2 ซึ่งแสดงตัวอย่างให้เห็นในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงชุดโครโมโซมในรุ่นเริ่มต้นและค่าความเหมาะสม

ลำดับ	โครโมโซม	x	ค่าความเหมาะสม
1	0 1 1 1 0	14	196
2	1 1 0 0 1	25	625
3	0 1 0 0 0	8	64
4	1 0 0 1 1	19	361

3. การคัดเลือกโครโมโซม

เป็นการจำลองแบบการคัดเลือกทางธรรมชาติเพื่อสร้าง mating pool โดยคัดเลือกชุดโครโมโซมรุ่นเก่าให้เป็นโครโมโซมต้นแบบหรือโครโมโซมพ่อแม่ เพื่อใช้ในการสร้างโครโมโซมลูกรุ่นต่อไป สำหรับการคัดเลือกเป็นแบบอ้างอิงความเหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าความเหมาะสม ถ้าประชากรตัวนั้นมีค่าความเหมาะสมที่ดีก็จะมีโอกาสถูกกำหนดน้ำหนักค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกแต่ละครั้งสูง การกำหนดค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกต่อการสุ่มแต่ละครั้ง (Probability of Selected Values: $pselect$) ของแต่ละโครโมโซม โดยกำหนดจากค่าความเหมาะสม เทียบกับผลรวมของค่าความเหมาะสมทั้งหมด

$$pselect_i = F_i / \sum F$$

สามารถคำนวณค่าที่คาดหวังว่าจะสุ่มได้ (Expected Value: E) ของแต่ละโครโมโซมในแต่ละรุ่นได้จากสมการ

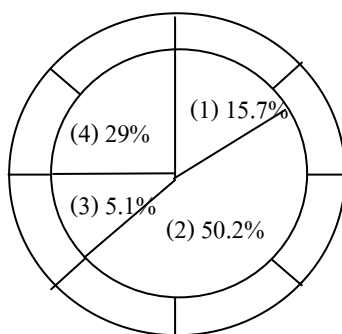
$$E_i = pselect_i \times popsize = F_i / F$$

สำหรับการสุ่มโครโมโซมต้นแบบเป็นแบบจำลองการหมุนวงล้อถ่วงน้ำหนัก (Roulette Wheel: RW) ซึ่งกำหนดขนาดแต่ละช่องของวงล้อนั้นตามค่าความน่าจะเป็นที่จะสุ่มได้ในแต่ละครั้งของแต่ละโครโมโซมซึ่งมีวิธีการดังนี้

1. หาค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม
2. หาค่าความน่าจะเป็นที่จะสุ่มได้ในแต่ละครั้งของแต่ละโครโมโซม
3. หาความถี่สะสม q ของค่าความน่าจะเป็นของแต่ละโครโมโซมจากสมการ

$$q_i = \sum_{j=1}^i pselect_j$$

4. สร้างเลขสุ่มจำนวนจริง (r) ซึ่ง r มีค่าอยู่ระหว่าง $[0.0, 1.0]$
5. เลือกโครโมโซมลำดับที่ r ซึ่ง r มีค่าอยู่ระหว่าง q_{i-1} และ q_i



รูปที่ 3.8 แสดงวงล้อถ่วงน้ำหนัก (Roulette Wheel)

ตารางที่ 3.3 แสดงตัวอย่างวิธีการหาค่าความน่าจะเป็น

ลำดับ	โครโมโซม	x	ค่าความ เหมาะสม	ค่าความน่าจะเป็น	จำนวนที่ คาดหวัง	จำนวนที่สุ่ม ได้จาก RW
1	0 1 1 1 0	14	196	0.157	0.628	1
2	1 1 0 0 1	25	625	0.502	2.008	2
3	0 1 0 0 0	8	64	0.051	0.204	0
4	1 0 0 1 1	19	361	0.290	1.160	1
	รวม		1246	1.000	4.000	
	ค่าเฉลี่ย		312	0.250	1.000	
	ค่าสูงสุด		625	0.502	2.008	

จากตารางที่ 3.3 จะแสดงให้เห็นว่าในการคัดเลือกโครโมโซมต้นแบบจาก 4 โครโมโซมนี้ โอกาสที่จะสุ่มได้โครโมโซมลำดับที่ 1 เป็นจำนวน 0.157 และโอกาสที่จะสุ่มได้โครโมโซมลำดับที่ 2, 3, 4 เป็นจำนวน 0.502, 0.051, 0.29 ตามลำดับ จากนั้นทำการสุ่มโดยการจำลองการหมุนวงล้อจะได้โครโมโซมดังนี้

ตารางที่ 3.4 แสดงตัวอย่างวิธีการสุ่มเลือกโครโมโซมเข้า mating pool

ลำดับโครโมโซม	1	2	3	4
ค่าความเหมาะสม (F)	196	625	64	361
ค่าความน่าจะเป็นที่สุ่มได้แต่ละครั้ง $p_{selecti}$	0.157	0.502	0.051	0.290
ความถี่สะสมค่าความน่าจะเป็น (q_i)	0.157	0.659	0.710	1.000
สร้างเลขสุ่มในการหมุนวงล้อแต่ละครั้ง (r)	0.333	0.844	0.456	0.128
ลำดับโครโมโซมที่ถูกเลือก ($q_{i-1} < r < q_i$)	2	4	2	1

จำนวนที่สุ่มได้เป็นโครโมโซมต้นแบบใน mating pool ของแต่ละโครโมโซมเป็น 1, 2, 0 และ 1 ตามลำดับ จะได้เห็นว่าโครโมโซมลำดับที่ 2 มีค่าความเหมาะสมสูงที่สุด ดังนั้นจึงมีโอกาสถูกคัดเลือกมากที่สุด ส่วนโครโมโซมลำดับที่ 3 มีค่าความเหมาะสมต่ำที่สุดจึงมีโอกาสที่จะไม่ถูกคัดเลือกเลย

4. การดำเนินการทางพันธุศาสตร์

เป็นขั้นตอนที่จำลองแบบธรรมชาติทางพันธุกรรม ซึ่งตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ของ SGA คือครอสโอเวอร์และมิวเตชัน โดยทั้งสองวิธีมีการทำงานดังนี้

การครอสโอเวอร์

เป็นการแลกเปลี่ยนส่วนของโครโมโซมพ่อ-แม่ เพื่อสร้างชุดโครโมโซมรุ่นใหม่ หรือโครโมโซมลูก ในขั้นตอนนี้จะพยายามสร้างทางเลือกใหม่และปรับปรุงโครโมโซมให้ดีขึ้นโดยการครอสโอเวอร์ ซึ่งจินตนาการที่ง่ายจะพยายามสร้างโครโมโซมที่ดีขึ้นโดยการรวมลักษณะที่ดีของแต่ละโครโมโซมเข้าด้วยกัน โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงกว่ามักจะถูกเลือกมาครอสโอเวอร์บ่อยครั้งกว่า ส่งผลให้มีโอกาสในการรอดไปยังรุ่นต่อไปมีมากกว่า โดยการครอสโอเวอร์ คือการนำค่ามาสับเปลี่ยนบิตสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การครอสโอเวอร์หนึ่งตำแหน่ง (one point crossover) การครอสโอเวอร์สองตำแหน่ง (two point crossover) หรือการครอสโอเวอร์หลายตำแหน่ง (multiple point crossover)

การกำหนดอัตราความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ (Probability of Crossover: P_c) เพื่อสร้างชุดโครโมโซมรุ่นใหม่หรือโครโมโซมลูก โดยมีขั้นตอนในการทำงานดังนี้

1. เริ่มต้นการจากสุ่มจับคู่โครโมโซมพ่อแม่ใน mating pool

2. สร้างเลขสุ่มจำนวนจริง (r) ที่มีค่าอยู่ในช่วง $[0.0 , 1.0]$ โดยถ้าค่า $r < P_c$ แล้วโครโมโซมพ่อแม่จะมีการครอสโอเวอร์

3. ครอสโอเวอร์โดยการแลกเปลี่ยนส่วนคู่โครโมโซมพ่อแม่ ซึ่งการครอสโอเวอร์ของ SGA จะเป็นการครอสโอเวอร์แบบ 1 จุด โดยทำการสุ่มเลือกแถวของ P ของโครโมโซมพ่อแม่มาทำการครอสโอเวอร์

ตัวอย่าง การครอสโอเวอร์แบบหนึ่งตำแหน่ง โดยครอสโอเวอร์ ณ ตำแหน่งที่ 2

โครโมโซมพ่อแม่-แม่				
0	1	1	1	0
1	1	0	0	1

โครโมโซมลูก				
0	1	0	0	1
1	1	1	1	0

รูปที่ 3.9 แสดงการครอสโอเวอร์แบบหนึ่งตำแหน่ง

การมิวเตชัน

เป็นลักษณะของการผ่าเหล่าคือการนำโครโมโซมเก่ามาสุ่มแก้ไขบางส่วนของโครโมโซม ซึ่งอาจช่วยให้โครโมโซม มีค่าความเหมาะสมที่ขึ้นได้หลังจากครอสโอเวอร์ โดยทำการกลับค่าของบิตที่สุ่มได้ ตามอัตราความน่าจะเป็นของการมิวเตชันในแต่ละบิต (Probability of Mutation: P_m) ที่กำหนด สำหรับการมิวเตชันของ SGA นั้นเป็นแบบไบนารีมิวเตชัน โดยการกลับค่าบิตเป็นค่าคอมพลิเมนต์ คือจาก 0 เป็น 1 และจาก 1 เป็น 0 โดยจะทำให้ได้โครโมโซมใหม่ที่มีสายพันธุ์ต่างจากเดิม ซึ่งมีโอกาสที่จะเป็นโครโมโซมที่ดีขึ้นหรือเลวลงก็ได้ หากโครโมโซมที่ได้ใหม่นี้เป็นโครโมโซมที่เลวลง โครโมโซมที่ได้นี้ก็จะถูกคัดออกไปในขั้นตอนการคัดเลือกเอง วัตถุประสงค์ของการมิวเตชันคือเพื่อประกันการสูญหายของข้อมูลและเพื่อความหลากหลายของข้อมูล ตัวอย่างการทำมิวเตชันในรูปที่ 3.10 เป็นการสุ่มเลือกเปลี่ยนโครโมโซมตำแหน่งบิตที่ 3

ก่อนการมิวเตชัน				
0	1	0	0	1

หลังการมิวเตชัน				
0	1	1	0	1

รูปที่ 3.10 แสดงการมิวเตชัน

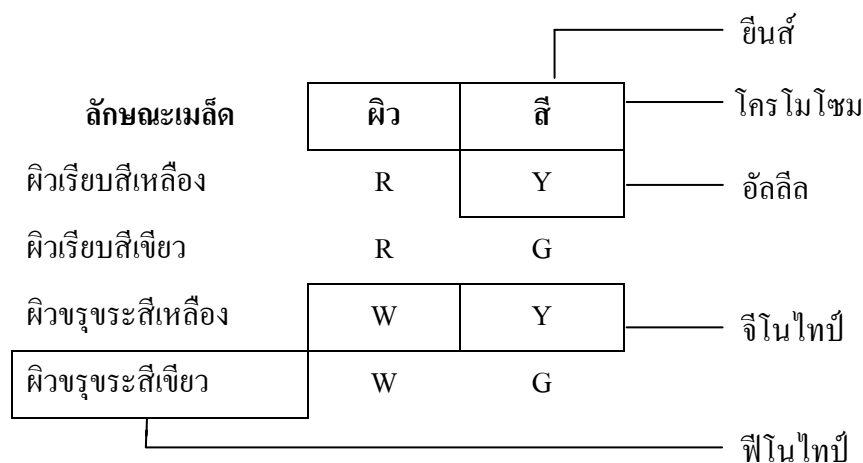
5. ประชากรรุ่นใหม่

เป็นชุดโครโมโซมลูกที่เกิดจากขั้นตอนของวิวัฒนาการต่างๆทั้งหมด ซึ่งประชากรรุ่นใหม่ทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะถูกถ่ายทอดกลายเป็นประชากรรุ่นเก่าสำหรับวิวัฒนาการในรุ่นถัดไป ซึ่งเรียกวิวัฒนาการแบบนี้ว่า การถ่ายทอดแบบทั่วไปหรือรีโพรดักชันแบบทั่วไป (General Reproduction) กระบวนการต่างๆจะถูกปฏิบัติซ้ำๆจนกระทั่งถึงรุ่นที่มากที่สุด (max generation: *maxgen*) ที่ต้องการ

3.6 พันธุศาสตร์ทางชีววิทยากับจีเนติกอัลกอริทึม

เพื่อเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างทางพันธุศาสตร์กับจีเนติกอัลกอริทึม กล่าวโดยสรุปคือในทางพันธุศาสตร์แต่ละโครโมโซมประกอบด้วยหน่วยเก็บลักษณะหรือยีนส์ ซึ่งเก็บค่าแสดงลักษณะหรือแอลลี และแต่ละแบบของชุดยีนส์เรียกว่าจีโนไทป์ ซึ่งแสดงลักษณะภายนอกที่ปรากฏเรียกว่า ฟิโนไทป์

รูปที่ 3.11 จะแสดงลักษณะทางพันธุศาสตร์ของโครโมโซมควบคุมลักษณะของเมล็ดถั่ว ซึ่งมียีนส์ลักษณะของผิวเมล็ดคือ มีลักษณะเรียบ (R) หรือ ขรุขระ (W) และยีนส์ลักษณะของสีเมล็ดคือมีสีเหลือง (Y) และสีเขียว (G)



รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะทางพันธุศาสตร์ของเมล็ดถั่ว

สำหรับในทางจีเนติก อัลกอริทึม การแก้ปัญหาด้านคณิตศาสตร์ ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ของปัญหาจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสตริง ซึ่งมักเรียกกันว่าโครโมโซม ประกอบด้วยอักขระหรือบิต แต่ละตำแหน่งของโครโมโซมจะเก็บค่าอักขระหรือค่าของบิตที่แสดงถึงโครงสร้างของแต่ละโครโมโซมที่มีค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ของปัญหาแตกต่างกัน และเป็นตัวกำหนดค่าความเหมาะสมตามฟังก์ชันความเหมาะสมของแต่ละปัญหา

รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะทางจีเนติก แสดงถึงการแก้ปัญหาในการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน $f(x) = x^2$ โดยที่ X มีค่าอยู่ระหว่าง $[0, 4]$ และค่าของ x ถูกแปลงให้อยู่ในรูปของไบนารีสตริง

อักขระ				
สตริง	บิต 1	บิต 2	X	X ²
ค่าอักขระ	0	0	0	0
	0	1	1	1
โครงสร้าง	1	0	2	4
	1	1	4	16
ค่าพารามิเตอร์				
คำตอบของปัญหาซึ่งเป็นค่าของฟังก์ชัน				

รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะทางจีเนติก

ดังนั้นสามารถสรุปความหมายเปรียบเทียบคำศัพท์ ที่ใช้ทางพันธุศาสตร์กับทางจีเนติก อัลกอริทึมดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบคำศัพท์ระหว่างพันธุศาสตร์และจีเนติกอัลกอริทึม

พันธุศาสตร์	จีเนติกอัลกอริทึม
โครโมโซม (Chromosome)	สตริง (String)
ยีนส์ (Gene)	คุณลักษณะ (Character), บิต (Bit)
อัลลีล (Allele)	ค่าของคุณลักษณะ (Character Value), ค่าบิต (Bit Value)
โลคัส (Locus)	ตำแหน่ง (String Position)
จีโนไทป์ (Genotype)	โครงสร้าง (Structure)
ฟีโนไทป์ (Phenotype)	โครงสร้างคำตอบ (A Decode Structure)

3.7 ฮิวริสติก (heuristic)

คืออัลกอริทึมที่ไม่สามารถรับประกันคุณภาพของคำตอบได้ว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุดและ/หรือไม่สามารถรับประกันช่วงเวลาในการหาคำตอบว่าหาได้ภายในเวลาที่กำหนด ตัวอย่างความหมายของความไม่สามารถรับประกันได้ เช่น ถ้าเรามีวิธีในการหาคำตอบของปัญหาประเภทหนึ่ง ซึ่งโดยปกติวิธีนี้จะให้คำตอบที่มีคุณภาพดี แต่ในบางครั้งคำตอบที่ได้อาจจะไม่ดี หรือ เราไม่สามารถจะพิสูจน์ได้ว่า วิธีการหาคำตอบหนึ่งจะสามารถหาคำตอบได้เร็วตลอดเวลา ถึงแม้ว่า

โดยทั่วไปแล้วจะเร็วก็ตาม โดยส่วนใหญ่ เราสามารถสร้างและยกตัวอย่างปัญหาเป็นพิเศษให้กับฮิวริสติก และเป็นกรณีที่ทำให้ฮิวริสติกให้คำตอบที่ผิด หรือทำงานอย่างเชื่องช้าได้ แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโครงสร้างของปัญหานั้นเป็นกรณีที่พิเศษมากๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อย หรือ อาจไม่เกิดขึ้นเลย ดังนั้นเราจึงพบเห็นการนำฮิวริสติกไปใช้แก้ปัญหในโลกแห่งความเป็นจริงอยู่ทั่วไป