บทที่ 4
การประยุกต์ใช้งานอัลกอริทึมจีเนติกกับปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพี

ในบทนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานอัลกอริทึมจีเนติกกับปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพี โดยภายในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของปัญหา ค่าพารามิเตอร์และตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงรายละเอียดของการประยุกต์ใช้งานอัลกอริทึมจีเนติกกับปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพีแบบทางเดียว

4.1 ลักษณะปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพี

หมายเลขเครือข่าย (Network Prefix) คือตัวเลขที่ใช้ในการระบุเครือข่ายแต่ละเครือข่าย เช่น 10.1.1.0/24 เส้นทาง เป็นข้อมูลหลักที่บีจีพีเราเตอร์ใช้ในการแลกเปลี่ยนระหว่างกันเพื่อนำมาสร้างตารางเส้นทาง หมายเลขเครือข่ายเหล่านี้ จะมีความสัมพันธ์กับการส่งผ่านข้อมูลจากท่อส่งข้อมูลขาเข้าไปยังท่อส่งข้อมูลขาออก ดังนั้นการส่งผ่านข้อมูลจึงมีจุดเริ่มต้นจากการกำหนดเส้นไปยังเครือข่ายปลายทางโดยเราเตอร์ที่เป็นทางเข้าของการส่งผ่านข้อมูลนั้นๆ ภายในงานวิจัยจึงมุ่งประเด็นไปในเรื่อง ทำอย่างไรให้เครือข่ายของไอเอสพีสามารถส่งผ่านข้อมูลจากเราเตอร์ที่เป็นทางเข้าของเครือข่ายไปยังเราเตอร์ที่เป็นทางออกของเครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการเลือกเส้นทางเหล่านั้นจะต้องบรรลุวัตถุประสงค์ในเรื่องของปริมาณข้อมูลจะต้องไม่เกินความจุของท่อส่งข้อมูลขาออก ซึ่งเป็นข้อจำกัดของเครือข่าย และสามารถกระจายข้อมูลไปยังเราเตอร์ที่สามารถจะส่งข้อมูลไปยังเครือข่ายปลายทางได้โดยไม่เกินความจุของท่อส่งข้อมูลของเราเตอร์นั้นๆ

ดังนั้นปัญหาพื้นฐานของการทำอย่างไรให้การใช้ทรัพยากรภายในเครือข่ายมีประสิทธิภาพคือ ทำการส่งข้อมูลจากจุดที่รับข้อมูลมาไปยังจุดที่ข้อมูลออกให้รวดเร็วที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ซึ่งอีกนัยหนึ่งก็คือการส่งข้อมูลที่รับมาทั้งหมดให้ใช้ระยะทางโดยรวมให้สั้นที่สุด ในการส่งผ่านภายในเครือข่ายของไอเอสพี ซึ่งภายในงานวิจัยจะมุ่งประเด็นไปในเรื่องการทำอย่างไรให้เสียต้นทุนน้อยที่สุดในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย ค่าต้นทุนเหล่านี้เป็นค่าคงที่ อาจจะได้มาจากค่าต้นทุนของโปรโตคอลเกตเวย์ภายใน ซึ่งอาจจะเป็นการนับจำนวนเราเตอร์ที่ข้อมูลนั้นเดินทางผ่าน ค่าหน่วงเวลา ค่าเอ็มทียู ขนาดท่อส่งข้อมูล ภายในงานวิจัยความหมายของค่าต้นทุนเส้นทางไม่ได้รวมไปถึงการตั้งค่าโดยคำนึงจากปัจจัยที่ไม่คงที่อื่นๆ ที่นอกเหนือการควบคุมเช่น ความหนาแน่นของข้อมูลภายในท่อข้อมูล

คำตอบของปัญหานี้คือการทำอย่างไรในการเลือกกระจายส่งข้อมูลไปยังท่อส่งข้อมูลขาออกให้มีความเหมาะสมในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดของขนาดท่อส่งข้อมูลขาออก ส่วนอินพุทของปัญหาคือ ขนาดการไหลของข้อมูลจากท่อส่งข้อมูลขาเข้าของบอร์เดอร์เราเตอร์ ซึ่งจะถูกกำหนดจากบุคคลภายนอกเช่น ไอเอสพีที่เราทำการเชื่อมต่อ กลุ่มผู้ใช้บริการ ซึ่งจะเป็นผู้กำหนดนโยบายการเลือกเส้นทางส่งข้อมูลของตนเอง แต่มีหลายๆ ผู้ให้บริการใช้เทคนิคการชักชวนให้เลือกเส้นทางที่ต้องการ โดยใช้ MED ซึ่งเป็นเสมือนค่าต้นทุนในการเลือกเส้นทาง เราเตอร์ที่รับข้อมูลนี้ไปจะเลือกเส้นทางที่มีค่าต้นทุนที่ต่ำกว่าในการส่งข้อมูลกลับมา และการเพิ่มค่าหมายเลข ออโตโนมัสตนเองให้ยาวมากกว่าปกติ เพื่อที่จะให้ข้อมูลกลับมาในทางที่มีการประกาศแบบปกติ แต่สองวิธีนี้ไม่อาจรับประกันความแน่นอนของข้อมูลที่จะกลับมาได้จริงหรือไม่ เพราะแต่ละออโตโนมัสมีการนโยบายการตัดสินใจเป็นของตัวเอง ปัญหาการตั้งค่าเส้นทางของบีจีพีแบ่งออกเป็นสองปัญหา ซึ่งแบ่งประเภทจากการบังคับการส่งข้อมูลไปยังท่อส่งข้อมูลขาออก

4.1.1 ปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียว

ปัญหาแรกคือปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียว บีจีพีเราเตอร์ทุกตัวในระบบออโตโนมัสจะเลือกท่อส่งข้อมูลขาออกเพียงท่อเดียว สำหรับแต่ละหมายเลขเครือข่ายปลายทุกๆการไหลของข้อมูลจากแต่ละท่อส่งข้อมูลขาเข้าจะถูกส่งออกไปยังท่อส่งข้อมูลขาออกที่บีจีพีได้ทำการเลือกไว้ ลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบหนึ่งต่อหนึ่งระหว่างการไหลของข้อมูลขาเข้าทั้งหมดกับท่อส่งข้อมูลขาออก ปัญหานี้เรียกว่า ปัญหาเอสอีเอส ในทางปฏิบัติผู้บริหารระบบสามารถตั้งค่าแบบเอสอีเอสได้โดยใช้เทคนิคโลคอลพรีเฟอร์ (Local Preference) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันในการตั้งค่าบีจีพีอยู่แล้ว ผลจากการตั้งค่าด้วยโลคอลพรีเฟอร์ บีจีพีเราเตอร์ที่รับค่าการประกาศเส้นทางจากออโตโนมัสข้างเคียง เส้นทางที่มีค่าพรีเฟอร์ที่สูงที่สุดในระบบออโตโนมัสจะถูกเลือกในการใช้ส่งข้อมูลไปหาเครือข่ายปลายทางนั้น

4.1.2 ปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกหลายทาง

ส่วนปัญหาที่สอง บีจีพีเราเตอร์แต่ละตัวในระบบออโตโนมัส มีอิสระในการเลือกเส้นทางออกจากเครือข่ายที่ต่างกัน เช่น มี บีจีพีเราเตอร์สองตัวรับทราฟฟิคโฟร์ (Traffic Flow) ที่ต้องการไปเป้าหมายปลายทางเดียวกัน ทั้งสองมีสิทธิ์ในการเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุด จากจุดหมุนของตัวเอง ไปยังท่อทางออกที่สามารถไปถึงเครือข่ายปลายทางได้ ในการปฏิบัติของปัญหานี้ทางออกของเครือข่ายปลายที่มีทางออกหลายทาง สามารถใช้กฎการเลือกเส้นทางของบีจีพีในขั้นตอนที่หก เมื่อผ่านขั้นตอนที่หนึ่งถึงห้ามาแล้วแสดงว่า กำลังมีข้อมูลเส้นทางให้เลือกหลายเส้นทาง โดยในขั้นตอนที่หกจะเป็นการเลือกเส้นทางโดยใช้ค่าต้นทุนจากโปรโตคอลเลือกเส้นทางไอจีพีเป็นตัวตัดสิน หรืออาจจะกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าตัดสินกันที่ค่าต้นทุนจากบีจีพีเราเตอร์ที่เป็นทางเข้าของ ทราฟฟิคโฟร์ ไปยังบีจีพีเราเตอร์ที่เป็นทางออกของข้อมูล เพราะฉะนั้นเมื่อบีจีพีเราเตอร์ที่เป็นทางเข้าของข้อมูลแต่ละตัว จึงสามารถเลือกทางออกได้อิสระ ซึ่งขึ้นอยู่กับการ

คำนวณค่าต้นทุนจากตัวเองไปยังทางออกแต่ละทางที่เป็นไปได้ ดังนั้นข้อมูลจึงสามารถเลือกออกไปยังเครือข่ายเป้าหมายได้หลายทาง ปัญหานี้จึงเรียกว่าเอ็มอีเอส (MES: Multiple Egress Selection)

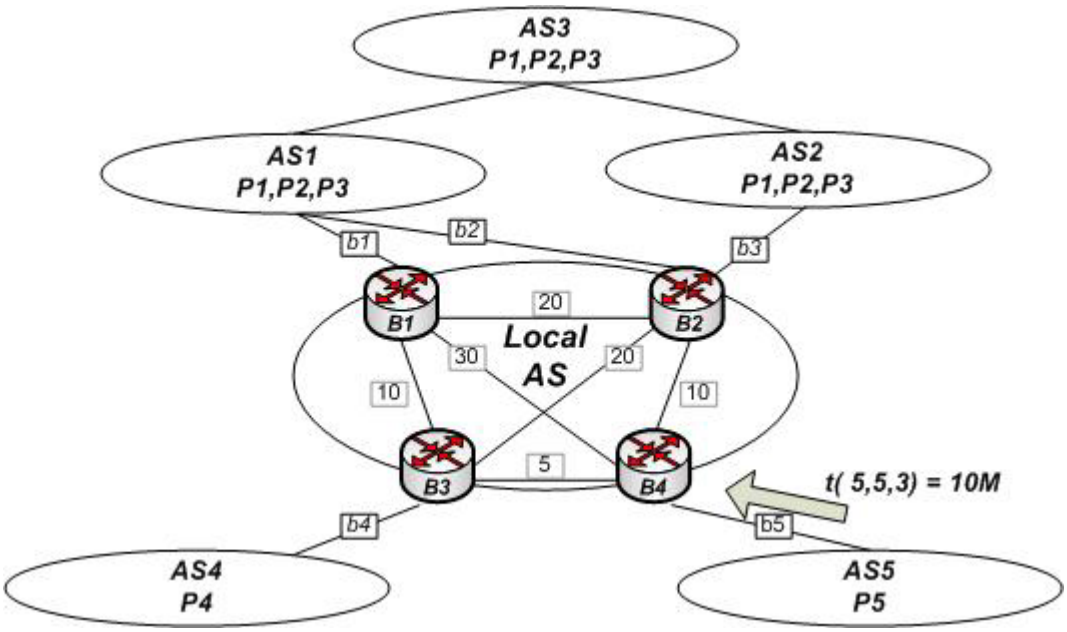
4.1.3 ตัวแปรที่ใช้ในปัญหาเลือกเส้นทางของบีจีพี

ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัยใช้เหมือนกับงานวิจัยของ [4] และ [6] ซึ่งตั้งสมมุติฐานว่าเราเตอร์ภายในเครือข่ายมีแบนวิดท์ของท่อส่งข้อมูลระหว่างกันไม่จำกัด แต่ท่อส่งข้อมูลจะถูกจำกัดขนาดในท่อส่งข้อมูลระหว่างระบบออโตโนมัส เป็นการตั้งสมมุติฐานที่สอดคล้องกับความเป็นจริง กับลักษณะเครือข่ายของไอเอสพีในปัจจุบัน ซึ่งภายในเครือข่ายจะมีขนาดแบนวิดท์ระดับ 1000 เมกะบิท แต่ท่อส่งข้อมูลไปยังไอเอสพีต่างประเทศยังอยู่ที่ระดับ 2 ถึง 10 เมกะบิท เนื่องจากมีค่าเช่าวงจรมีราคาสูง

ท่อส่งข้อมูลระหว่างระบบออโตโนมัสสามารถเป็นได้ทั้งท่อส่งข้อมูลขาเข้าและท่อส่งข้อมูลขาออก ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้พร้อมกันในความจุที่เท่ากัน บอเดอร์เราเตอร์หนึ่งตัวสามารถมีท่อส่งข้อมูลได้หลายท่อ รูปแบบการเชื่อมต่อกันระหว่างระบบออโตโนมัสสามารถทำได้ทั้งการเชื่อมต่อโดยตรงและการเชื่อมต่อผ่านระบบออโตโนมัสอื่น ท่อส่งข้อมูลที่เชื่อมต่อกันระหว่างระบบออโตโนมัสสามารถมีได้มากว่าหนึ่งท่อ สำหรับค่าเส้นทางที่ใช้ในการประกาศ ต้องเป็นหมายเลขเครือข่ายที่ไม่ซ้อนทับกันหรือไม่ใช้การรวมเส้นทาง [15][16] ข้อมูลทราฟฟิคจะเข้ามาสู่ระบบออโตโนมัส จากท่อส่งข้อมูลที่ได้ทำการประกาศข้อมูลเส้นทางออกไป

เอเอส (AS) คือคำย่อของระบบออโตโนมัส และโลคอลเอเอส (Local AS)คือ ระบบออโตโนมัสที่ต้องการเลือกเส้นทาง และเอเอสอื่นๆ คือเอเอสข้างเคียง (Neighbor AS) โดยให้กลุ่มของเอเอสข้างเคียงแทนด้วย A_h, ... , A_H กลุ่มของท่อส่งข้อมูลที่เชื่อมต่อระหว่างบอเดอร์เราเตอร์กับเอเอสข้างเคียงแทนด้วย b_i , ... , b_I และ C_i จะเป็นตัวบอกปริมาณแบนวิดท์ของ b_i สำหรับฟังก์ชัน *B(i)* เป็นฟังก์ชันที่เมื่อใส่ท่อส่งข้อมูลที่ *i* ไปจะส่งค่าของบอเดอร์เราเตอร์ตัวที่เป็นเจ้าของท่อส่งข้อมูลนั้นกลับมา สำหรับแต่ละเอเอส A_h จะประกอบไปด้วย กลุ่มของท่อส่งข้อมูลขาเข้า ซึ่งถูกแทนด้วย *In(h)* หมายถึงกลุ่มของท่อส่งข้อมูลของเอเอสที่ A_h มายัง โลคอลเอเอส เมื่อเครือข่ายข้างเคียงต้องการส่งข้อมูลทราฟฟิค จะเลือกท่อส่งของมูลจาก *In(h)* ซึ่งคือท่อส่งข้อมูล b_j โดยที่มีปริมาณ ทราฟฟิคเป็น C_j ระยะทางระหว่างท่อส่งข้อมูลสองท่อ ซึ่งหมายถึงระยะทางระหว่างบอเดอร์เราเตอร์ที่เป็นเจ้าของท่อส่งข้อมูลนั้น จริงๆ แล้วก็คือค่าต้นทุนการเดินทางภายในเครือข่าย (Intradomain Cost) ถูกแทนด้วย *d(i,j)* แต่ละเอเอสจะประกาศหมายเลขเครือข่ายของตัวเองมา ให้ P_1 ,..., P_K แทนเป็นกลุ่มของหมายเลขเครือข่ายทั้งหมดที่รับการประกาศมาจากท่อส่งข้อมูลระหว่างเอเอส และแต่ละ P_k จะมี ถูกแทนด้วย *Out(k)* แทนค่ากลุ่มของท่อส่งข้อมูลที่สามารถไปยังเครือข่าย P_k ได้

สำหรับการไหลของทราฟฟิคข้อมูลไปยังเป้าหมายปลายทาง P_k โดยที่ข้อมูลนี่ถูกส่งมาจากเอเอสข้างเคียง A_h ผ่านท่อส่งข้อมูลขาเข้า b_i จะถูกเขียนแทนด้วย $t(h, i, k)$ สำหรับต้นทุนในการส่งการไหลของทราฟฟิคข้อมูลนี้ คือ $t(h, i, k)$ x $d(i, j)$ ซึ่งเป็นการนำค่าต้นทุนระยะทางจากท่อส่งข้อมูลขาเข้า b_i ไปยังท่อส่งเข้ามูลขาออก b_j มาคูณกับปริมาณทราฟฟิคที่จะยังเป้าหมายนั้น โดยที่จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือ การทำมีค่าต้นทุนการเดินทางผ่านเครือข่ายน้อยที่สุด โดยที่ไม่เกินความจุของท่อส่งข้อมูล สุดท้ายฟังก์ชัน $f(h, i, k)$ เป็นฟังก์ชันที่ใช้กำหนดการไหลของทราฟฟิค ที่ถูกส่งมาจาก A_h ผ่านท่อส่งข้อมูลขาเข้า b_i และมีเป้าหมายไปยัง P_k ไปยังท่อส่งข้อมูลขาออก b_j ซึ่งคือผลลัพธ์ของฟังก์ชันนี้



รูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย

จากรูปที่ 4.1 ประกอบไปด้วยกลุ่มของเอเอสข้างเคียง $A_1, A_2, A_3, \ldots, A_5$ ภายในโลคอลเอเอสประกอบได้ด้วยกลุ่มของบอเดอร์เราเตอร์ B_1, B_2, B_3 B_4 ซึ่งประกอบไปด้วยกลุ่มของท่อส่งข้อมูล $b_1, b_2, b_3, \ldots, b_5$ โดยที่ฟังก์ชัน $B(i)$ จะมีหน้าที่ส่งค่าเราเตอร์ที่ท่อส่งข้อมูลนั้นอยู่กลับมา เช่น $B(4) = B3$ ส่วนกลุ่มของท่อส่งข้อมูลขาเข้าของเอเอส 1 มายังโลคอลเอเอส หรือ $In(1)$ มี b_1, b_1 เป็นสมาชิก สำหรับกลุ่มหมายเลขเครือข่าย $P_1, P_2, P_3, \ldots, P_5$ ซึ่งถ้าเราต้องการส่งข้อมูลไปยังเครือข่าย P_3 โลคอลเอเอสจะต้องเลือกท่อส่งข้อมูลจากกลุ่มของท่อส่งข้อมูลที่สามารถส่งข้อมูลไปยังเครือข่าย P_3 ได้ ซึ่งเรียกว่า $Out(3)$ ซึ่งจะประกอบไปด้วย ท่อส่งข้อมูล b_1, b_2, b_3 จากรูป เมื่อเอเอส 5 ต้องการส่งทราฟฟิค 10 หน่วย ซึ่งถูกส่งออกท่อส่งข้อมูล b_5 ไปยังเครือข่าย P_3 จะถูกแทนด้วยตัวแปร $t(5, 5, 3)$ จากนั้นบอเดอร์เราเตอร์ B_3 ต้องทำการเลือกเส้นทางโดยใช้ฟังก์ชัน$f(5, 5, 3)$ การคำนวณของฟังก์ชันนี้ทำโดยการนำค่าระยะทางระหว่างเราเตอร์ที่เป็นทางเข้าและทางออกมา

คูณกับปริมาณทราฟฟิคที่ส่ง จากรูป การไปยังเครือข่าย P_3สามารถไปได้ 3 เส้นทาง โดยผ่านเราเตอร์ B_1, หรือ B_2 ซึ่งถ้าส่งไปยังเราเตอร์ B_1จะต้องเสียต้นทุนในการเดินทางผ่านเครือข่าย 30 หน่วย ซึ่งเมื่อนำมาคูณกับปริมาณทราฟฟิคจะได้เท่ากับ 300 (30 x 10) ส่วนถ้าเลือกเส้นทาง B_2 จะต้องเสียต้นทุนในการเดินทางผ่านเครือข่าย 10 หน่วย ซึ่งเมื่อนำมาคูณกับปริมาณทราฟฟิคจะได้เท่ากับ 100 (10 x 10) ดังนั้นเป้าหมายของฟังก์ชัน *f(h, i, k)* จึงเป็นฟังก์ชันที่สำคัญที่จะทำให้การการเดินทางของกระแสข้อมูล เดินทางผ่านเครือข่ายโดยใช้ต้นทุนน้อยที่สุด ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย สรุปอยู่ในตารางที่ 4.1

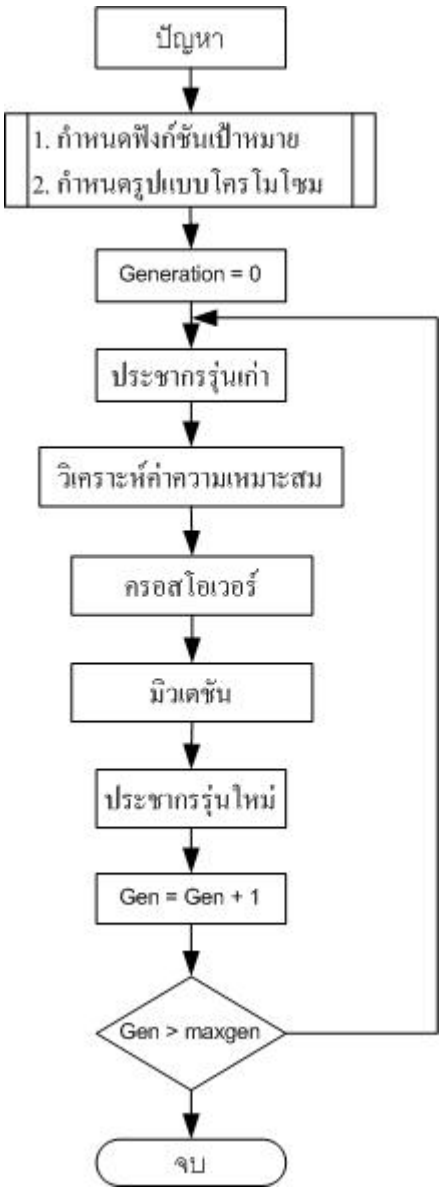
ตารางที่ 4.1 สรุปตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย

ชื่อตัวแปร	คำอธิบายตัวแปร
$A_h, \ldots, A_H$	กลุ่มของเอเอสข้างเคียง โดยที่ A_h หมายถึงเอเอสหมายเลขที่ h ซึ่งจะเริ่มต้นจากเอเอสหมายเลขที่ 1 ถึงเอเอสที่ H
$B_i, \ldots, B_I$	กลุ่มของบอเดอร์เราเตอร์ โดยที่ B_i หมายถึงเราเตอร์หมายเลขที่ i ซึ่งจะเริ่มต้นจากเราเตอร์ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ I
$b_i, \ldots, b_I$	กลุ่มของท่อส่งข้อมูล โดยที่ b_i หมายถึงท่อส่งข้อมูลหมายเลขที่ i ซึ่งจะเริ่มต้นจากท่อส่งข้อมูลที่ 1 ถึงตัวที่ I
C_i	ความจุของท่อส่งข้อมูล b_i
$P_k, \ldots, P_K$	กลุ่มของเครือข่ายปลายทาง โดยที่ P_k หมายถึงเครือข่ายปลายทางหมายเลขที่ k ซึ่งจะเริ่มต้นจากเครือข่ายปลายทางหมายเลขที่ 1 ถึงตัวที่ K
In(h)	กลุ่มของท่อส่งข้อมูลของเอเอส A_h ที่ใช้ส่งข้อมูลไปยังโลคอลเอเอส
Out(k)	กลุ่มของท่อส่งข้อมูลที่สามารถส่งข้อมูลไปยังเครือข่ายปลายทาง P_k ได้
t(h, i, k)	ปริมาณข้อมูลที่ต้องการส่ง จากเอเอสหมายเลข h จากท่อส่งข้อมูล b_i เผื่อที่จะไปยังเครือข่าย P_k
d(i, j)	ฟังค์ชันที่ให้ผลเป็นค่าต้นทุนในการเดินทางจากท่อส่งข้อมูลขาเข้า b_i ไปยังท่อส่งข้อมูลขาออก b_j
B(i)	ฟังค์ชันที่เมื่อนำค่าท่อส่งข้อมูล b_i โดยจะให้ผลเป็นค่าหมายเลขบอเดอร์เราเตอร์ตัวที่มีท่อส่งข้อมูล b_iกลับมา
f(h, i, k)	ฟังค์ชันการเลือกท่อส่งข้อมูล เพื่อที่จะส่งข้อมูลไปยังเครือข่าย P_k โดยที่ส่งข้อมูลจากเอเอส A_h และส่งจากท่อส่งข้อมูล b_i

4.2 จีเนติกอัลกอริทึมกับปัญหาการเลือกเส้นทางแบบใช้ทางออกทางเดียวของบีจีพี

จีเนติกอัลกอริทึมถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางกับปัญหาการค้นหาและการหาค่าเหมาะสม หรือปัญหาการหาค่าสูงสุดหรือต่ำที่สุดในขอบเขตที่ถูกกำหนดไว้ ซึ่งในงานวิจัยเราได้เลือกจีเนติกอัลกอริทึมแบบง่ายหรือ (Simple Genetic Algorithm: SGA) [17] มาแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพี เพราะปัญหานี้เป็นปัญหาการหาค่าต้นทุนที่ต่ำที่สุดในการเดินทางผ่านเครือข่าย โดยที่มีทรัพยากรภายในเครือข่ายที่มีขนาดจำกัดในเรื่องท่อส่งข้อมูลระหว่างเครือข่าย เพื่อที่จะทำให้เครือข่ายมีการบริการการส่งข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

จีเนติกอัลกอริทึมแบบง่ายเมื่อกำหนดรูปแบบโครโมโซมและฟังก์ชันความเหมาะสมของปัญหาแล้ว จีเนติกจะประมวลผลหาคำตอบของปัญหา โดยสร้างวิวัฒนาการกลุ่มตำตอบในรุ่นต่อไปตามอัลกอริทึมในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงการทำงานของจีเนติกแบบง่าย (SGA)

ในขั้นตอนเริ่มต้นเมื่อจีเนติกรับปัญหามา ก็จะทำการกำหนดรูปแบบของโครโมโซม และกำหนดฟังก์ชันเป้าหมาย จากนั้นทำการสร้างประชากรเริ่มต้นจากการสุ่มสร้างค่าแต่ละบิทของแต่ละโครโมโซม เมื่อได้จำนวนโครโมโซมตามที่ต้องการแล้ว จึงนำโครโมโซมมาเข้าฟังก์ชันหาความเหมาะสมให้แต่ละโครโมโซม จากนั้นทำค่าโครโมโซมมาทำการครอสโอเวอร์และมิวเตชัน จากนั้นทำการเพิ่มค่าให้กับค่าเจนเนเรชัน แล้วนำค่านั้นมาตรวจสอบว่ามีค่าเกินกว่าที่กำหนดหรือยัง ส่วนค่าที่กำหนดหรือ ค่าแมกซ์นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา ถ้าเกิดค่าเจนเนเรชันไม่เกินค่าแมกซ์ ก็ให้นำประชากรใหม่ที่ได้ไปเริ่มกระบวนการจีเนติกใหม่ จนกว่าจะครบรอบหรือเจนเนเรชันที่เรากำหนด

4.2.1 การสร้างประชากรเริ่มต้นของจีเนติกอัลกอริทึม

การสร้างประชากรเริ่มต้นของจีเนติกอัลกอริทึม เป็นส่วนสำคัญของจีเนติกอัลกอริทึมเป็นอย่างมาก ซึ่งจะส่งผลต่อส่วนอื่นๆ ของจีเนติกอัลกอริทึมต่อไป สำหรับวิธีการสุ่มสร้างประชากรเริ่มต้นมีสองวิธีในการคือ แบบแรกเป็นการสุ่มโดยที่ไม่คำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา ในทางกลับกันแบบที่สองจะเป็นการสุ่มโดยคำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา ทั้งสองวิธีนี้จะส่งผลให้กระบวนการของจีเนติกอัลกอริทึมมีลักษณะต่างกันในเรื่องของการตั้งฟังก์ชันเป้าหมาย

4.2.2 ฟังก์ชันเป้าหมาย

การหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาสำหรับจีเนติกอัลกอริทึม มีพื้นฐานอยู่บนผลลัพธ์จากการหาคำตอบของครั้งที่ผ่านมา ซึ่งจีเนติกอัลกอริทึมจะไม่คำนึงถึงขั้นตอนในการแก้ปัญหา แต่กลับจะพิจารณาจากคำตอบใหม่ที่เกิดขึ้นมาว่าดีขึ้นกว่าเดิมหรือไม่ หรือใกล้เคียงกับคำตอบที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งจะถูกกำหนดไว้โดยฟังก์ชันเป้าหมาย (Object Function: *f*) โดยที่แต่ละปัญหาจะสามารถกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายให้มีความสัมพันธ์กับตัวแปร พารามิเตอร์ และเงื่อนไขของปัญหาที่จะระบุคำตอบที่สามารถเป็นไปได้ โดยเริ่มต้นการโครโมโซมที่มีค่าอยู่ในขอบเขตที่กำหนด สำหรับปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพีโดยใช้ทางออกทางเดียวได้มีการกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายไว้ดังนี้

ฟังก์ชันเป้าหมายกับการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยไม่คำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา

ฟังก์ชันเป้าหมาย

$$\text{Minimize} \sum_{h,i,k} t(h,i,k) \,.\, d(i,j) \,.\, \chi_{jk} + c_j \qquad (4.1)$$

Subject to:

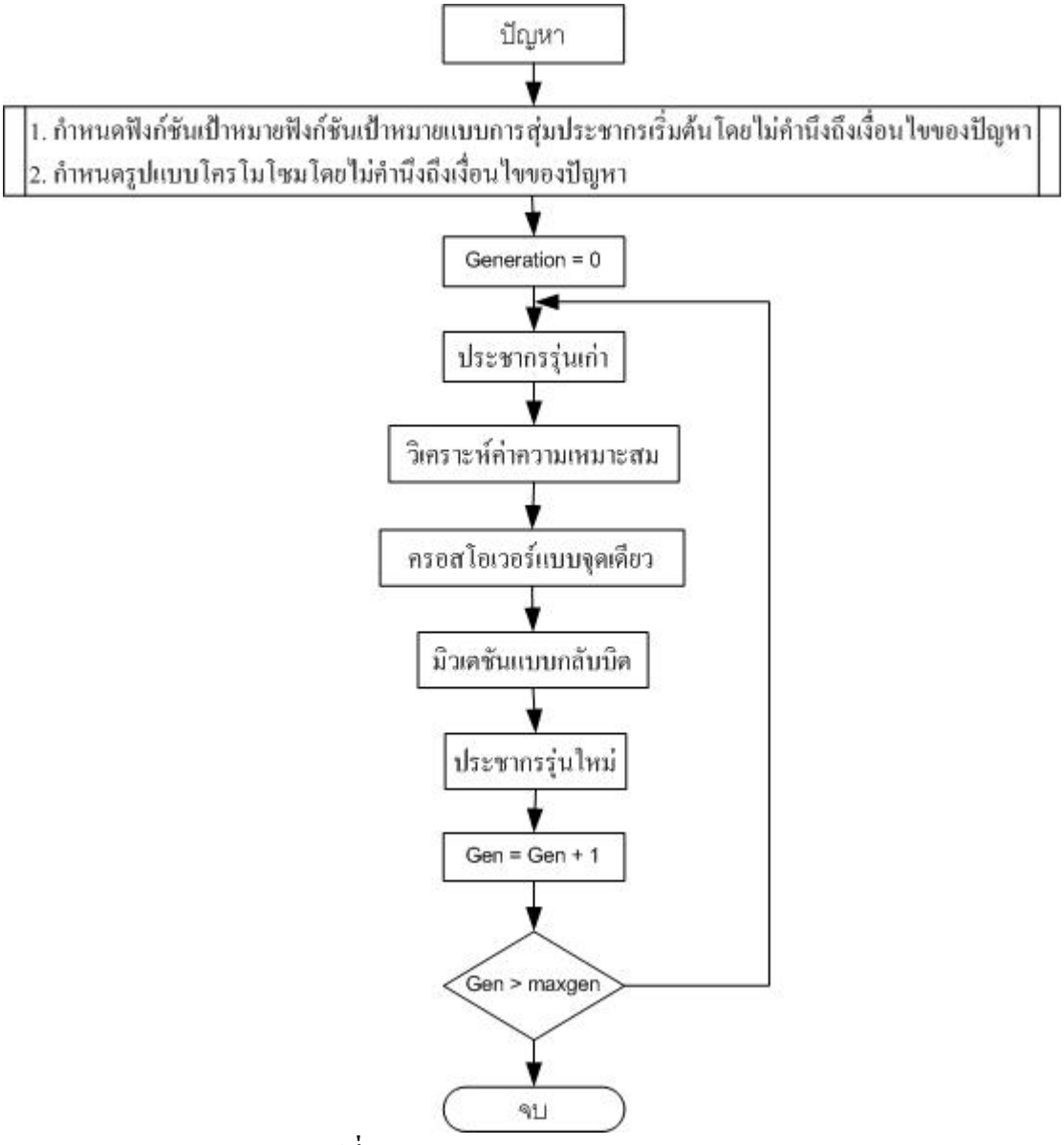
$$0 \qquad \text{if} \sum_{h,i,k} t(h,i,k) \,.\, \chi_{jk} < C_j,$$

$$c_j = \begin{cases} \\ t(h,i,k) \quad \text{if} \sum_{h,i,k} t(h,i,k) \,.\, \chi_{jk} > C_j, \end{cases} \qquad (4.2)$$

$$\chi_{jk} \in \{0,1\}, \forall_j \in I, \forall_k \in K \qquad (4.3)$$

สำหรับฟังก์ชันเป้าหมายใน (4.1) หมายความว่า ต้องการค่าที่ต่ำที่สุดของผลรวมของปริมาณแบนวิดท์คูณกับค่าระยะทางหรือต้นทุนในการส่งจากท่อส่งข้อมูลขาเข้า ไปยังท่อส่งข้อมูลขาออก สำหรับแต่ละการไหลของข้อมูลที่ส่งมาจากแต่ละเอเอสไปยังแต่ละปลายทางของ

ข้อมูล และรวมด้วยค่าปริมาณข้อมูลที่เกินขนาดท่อส่งข้อมูล ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากสมาการที่ (4.2) ค่าของ c_j จะเป็น 0 ก็ต่อเมื่อ ค่าของข้อมูลมีปริมาณน้อยกว่าขนาดของท่อส่งข้อมูล และจะมีค่าก็ต่อเมื่อค่าของข้อมูลมีค่ามากกว่าขนาดท่อส่งข้อมูล สำหรับ(4.3) แทนการกำหนดเส้นทางของบีจีพีเราเตอร์ ซึ่งกำหนดค่าท่อส่งข้อมูลขาออกที่สามารถไปยังเครือข่ายปลายทางได้ โดยที่ข้อมูลที่เครือข่ายสามารถส่งข้อมูลไปถึงได้มีค่าเท่ากับหนึ่งและที่ไม่สามารถส่งข้อมูลไปถึงได้มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งการทำงานของอัลกอริทึม SGA ที่มีการกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายแบบการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยไม่คำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหาแสดงอยู่ในรูป 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงการทำงานของ SGA (L)

สำหรับภายในงานวิจัยฉบับนี้เรียกอัลกอริทึมที่ว่า SGA แบบหลวมหรือ SGA (L: Loose) ซึ่งมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขสำหรับการเริ่มต้นสุ่มสร้างประชากรเริ่มต้นโดยไม่คำนึงถึง

เรื่องของขนาดท่อส่งข้อมูลและขนาดปริมาณข้อมูลที่ต้องการส่ง ดังนั้นการหาคำตอบจึงอาจเริ่มต้นจากคำตอบที่ผิดได้ และกระบวนการจีเนติกจะเป็นตัวปรับปรุงคำตอบให้ถูกต้องหรือใกล้เคียง โดยจะให้ค่าต้นทุนต่ำที่สุดเป็นคำตอบ

ฟังก์ชันเป้าหมายกับการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยคำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา

ฟังก์ชันเป้าหมาย

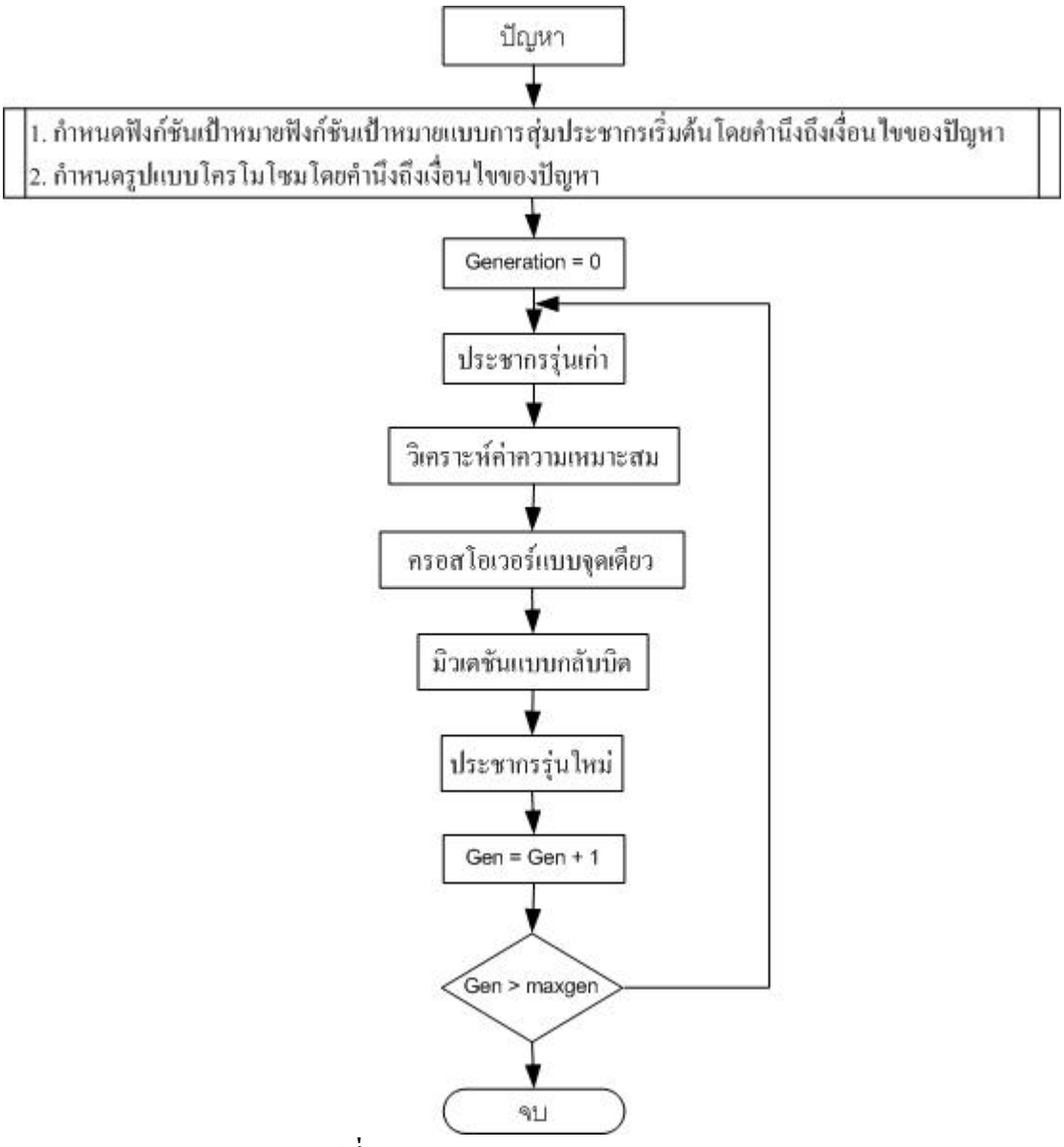
$$\text{Minimize} \sum_{h,i,k} t(h,i,k) \,.\, d(i,j) \,.\, \chi_{jk} \tag{4.4}$$

Subject to:

$$\sum_{k=1}^{K} t(h,i,k) \,.\, \chi_{jk} < C_j, \quad \forall_j \in I \tag{4.5}$$

$$\chi_{jk} \in \{0,1\}, \forall_j \in I, \forall_k \in K \tag{4.6}$$

สำหรับฟังก์ชันเป้าหมายใน (4.4) หมายความว่า ต้องการค่าที่ต่ำที่สุดของผลรวมของปริมาณแบนวิดท์คูณกับค่าระยะทางหรือต้นทุนในการส่งจากท่อส่งข้อมูลขาเข้า ไปยังท่อส่งข้อมูลขาออก สำหรับแต่ละการไหลของข้อมูลที่ส่งมาจากแต่ละเอเอสไปยังแต่ละปลายทางของข้อมูล โดยที่มีเงื่อนไขอยู่ว่า ผลรวมของปริมาณของข้อมูลต้องไม่เกินความจุของท่อส่งข้อมูล (4.5) และ χ_{jk} ใน (4.6) แทนการกำหนดเส้นทางของบีจีพีเราเตอร์ ซึ่งกำหนดค่าท่อส่งข้อมูลขาออกที่สามารถไปยังเครือข่ายปลายทางได้ โดยที่ข้อมูลที่เครือข่ายสามารถส่งข้อมูลไปถึงได้มีค่าเท่ากับหนึ่งและที่ไม่สามารถส่งข้อมูลไปถึงได้มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งการทำงานของอัลกอริทึม SGA ที่มีการกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายแบบการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยคำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหาแสดงอยู่ในรูป 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงการทำงานของ SGA (S)

สำหรับการเริ่มต้นสุ่มสร้างประชากรเริ่มต้นโดยคำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหาภายในงานวิจัยฉบับนี้เรียกอัลกอริทึมที่ว่า SGA แบบเข้มงวดหรือ SGA (S: Strict) จะเห็นได้ว่าข้อจำกัดของปัญหานี้คือ สมการที่ (4.5) และ (4.6) ดังนั้นการสุ่มสร้างประชากรเริ่มจึงต้องคำนึงถึง เรื่องของปริมาณข้อมูลจะต้องไม่เกินความจุของท่อส่งข้อมูล และข้อมูลทุกๆข้อมูลจะต้องส่งออกไปยังเครือข่ายปลายทางได้

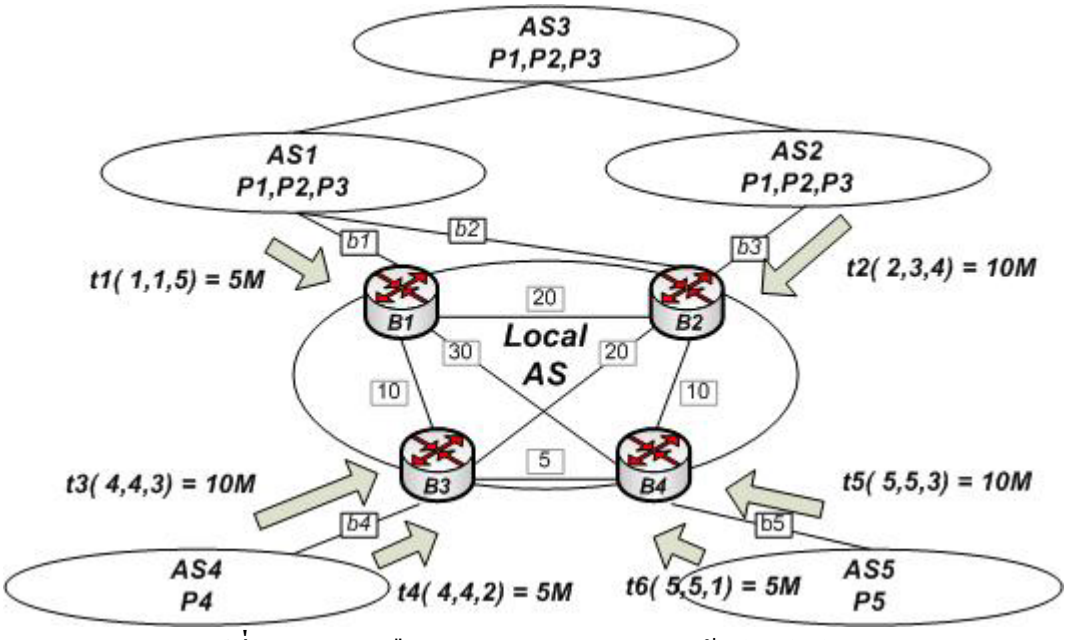
4.2.3 การกำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม

สำหรับปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพี เป็นการหาค่าต่ำสุดในการส่งกระแสข้อมูลผ่านเครือข่าย จึงเปรียบเทียบได้กับปัญหาการหาค่าต่ำสุด การนำกระแสข้อมูลของที่ถูกส่งมาจากเครือข่ายข้างเคียงมาคูณกับระยะทางจากเราเตอร์ที่ทำหน้าที่รับข้อมูลเข้าและเราเตอร์ที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลออกไปยังเครือข่ายปลายทางที่ถูกเลือกไว้ เมื่อมีการคำนวณทุกๆ กระแสของข้อมูลที่เดินทางผ่านเครือข่ายจะได้เป็นต้นทุนรวมทั้งหมด หรือคำตอบของปัญหานั้นเอง

$$\sum_{h,i,k} t(h,i,k) \,.\, d(i,j) \,.\, \chi_{jk}$$

4.2.4 การกำหนดรูปแบบของโครโมโซม

การกำหนดรูปแบบของโครโมโซม สำหรับรูปแบบโครโมโซมของเอสจีเอ (SGA) นั้นเป็นแบบไบนารี โดยค่าตัวแปรจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของไบนารี ซึ่งจะประกอบไปด้วย 0 และ 1 ซึ่งเป็นเลขฐานสอง เมื่อนำมาใช้กับปัญหานี้ เราได้จัดเรียงรูปแบบของโครโมโซมเป็นแบบเมตริก โดยจะยกตัวอย่างการสร้างโครโมโซมแบบง่ายๆ จากเครือข่ายตัวอย่าง



รูปที่ 4.5 แสดงเครือข่ายตัวอย่างสำหรับการสร้างโครโมโซม

จากเครือข่ายตัวอย่างในรูปที่ 4.5 ปรากฏว่าปัญหาของโลคอลเอเอสคือการส่งผ่านข้อมูลจากเอเอสข้างเคียง 5 กระแสข้อมูลไปยังเครือข่ายเป้าหมายของแต่ละข้อมูล โดยแต่ละกระแสข้อมูลมีลักษณะต่างๆ แสดงอยู่ในตารางที่ 4.2 ดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงรายละเอียดของกระแสข้อมูล

	เอเอสต้นทาง	ท่อส่งข้อมูลขาเข้า	เครือขายปลายทาง	ปริมาณข้อมูล
t1 (1,1,5)	1	b_1	P_5	5
t2 (2,3,4)	2	b_3	P_4	10
t3 (4,4,3)	4	b_4	P_3	10
t4 (4,4,2)	4	b_4	P_2	5
t5 (5,5,3)	5	b_5	P_3	10
t6 (5,5,1)	5	b_5	P_1	5

จากข้อมูลของกระแสข้อมูลซึ่งถึงว่าเป็นอินพุทของปัญหา เมื่อนำมาผ่านฟังก์ชัน *f(h, i, k)* ที่ใช้ในการเลือกเส้นทางของเราเตอร์ และเราสามารถนำมาสร้างเป็นตัวอย่างโครโมโซมสำหรับปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพีแบบใช้ทางออกทางเดียวแสดงตัวอย่างอยู่ในรูปที่ 4.6

โครโมโซม

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
b_1	0	0	1	0	0
b_2	1	0	0	0	0
b_3	0	1	0	0	0
b_4	0	0	0	1	0
b_5	0	0	0	0	1

รูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบของโครโมโซม

สำหรับโครโมโซมนี้จะเป็นคำตอบการเลือกเส้นทางแบบทางเดียวของบีจีพี โดยจะสังเกตุได้ว่าแต่ละคอลัมน์ของเครือข่ายปลายทาง ***P*** จะมี “1” เพียงแค่ตัวเดียว ซึ่งถ้า “1” อยู่แถวใด ท่อส่งข้อมูล ***b*** ตำแหน่งนั้นก็จะถูกเลือกเป็นท่อส่งข้อมูลขาออกสำหรับหมายเลขเครือข่าย ***P*** นี้ ตัวอย่างเช่นถ้าต้องการส่งข้อมูลไปยัง P_3 ของกระแสข้อมูลที่ ***t5*** ของเอเอส A_5 มีปริมาณแบนวิดท์ 10 หน่วย ซึ่งก่อนทำการเลือก เราเตอร์ B_3 ซึ่งเป็นเจ้าของท่อส่งข้อมูล b_5 ซึ่งเป็นทางเข้าของกระแสข้อมูลนี้ ต้องทำการเลือกเส้นทางจากฟังก์ชัน ***f(A_5 ,b_5,P_3)*** ซึ่งจากตัวอย่าง จะได้ผลลัพธ์เป็นท่อส่งข้อมูล b_1 โดยที่กระแสข้อมูลนี้จะมีต้นทุนในการส่งอยู่ที่ 5 x 10 = 50 หน่วย ซึ่ง 5 คือปริมาณแบนวิดท์ของกระแสข้อมูลและ 10 คือค่าต้นทุนในการส่งข้อมูลจากเราเตอร์ B_3 ไปยัง B_2 การคำนวณหาค่า

ต้นทุนการส่งข้อมูลของโครโมโซม จะต้องนำกระแสข้อมูลทุกตัวมาทำการเลือกเส้นทางพร้อมทั้งคำนวณค่าต้นทุนของแต่ละกระแส จากนั้นนำมารวมกันเป็นคำตอบของปัญหา

ประชากรรุ่นเก่า เป็นโครโมโซมที่จะถูกคัดเลือกเป็นต้นแบบสำหรับสร้างประชากรรุ่นใหม่ในวิวัฒนาการรุ่น (Generation) ต่อไป โดยจะเริ่มต้นจาก 0 ซึ่งประชากรโครโมโซมจะถูกสุ่มสร้างขึ้นมาตามจำนวนที่กำหนด (Population Size) ตัวอย่างของโครโมโซมแสดงอยู่ในรูป 4.7

โครโมโซม 1

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
b_1	0	0	1	0	0
b_2	1	0	0	0	0
b_3	0	1	0	0	0
b_4	0	0	0	1	0
b_5	0	0	0	0	1

โครโมโซม 2

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
b_1	1	0	0	0	0
b_2	0	1	1	0	0
b_3	0	0	0	0	0
b_4	0	0	0	1	0
b_5	0	0	0	0	1

โครโมโซม 3

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
b_1	0	1	0	0	0
b_2	0	0	0	0	0
b_3	1	0	1	0	0
b_4	0	0	0	1	0
b_5	0	0	0	0	1

รูปที่ 4.7 แสดงตัวอย่างของโครโมโซม

4.2.5 การวิเคราะห์ค่าความเหมาะสม

เป็นขั้นตอนของการถอดรหัสโครโมโซมจากรูปแบบที่กำหนดไว้ เพื่อที่จะนำมาคำนวณค่าความเหมาะสมตามฟังก์ชัน เพื่อที่จะได้ค่า F มาใช้ในการคำนวณเลือกหาประชากรรุ่นที่เหมาะสมต่อไป โดยที่ ฟังก์ชันความเหมาะสมคือ

$$F = \sum \; t(h,i,k) \; . \; d(i,j) \; . \; \chi_{jk}$$

โดยที่

1. ปริมาณข้อมูลต้องไม่เกินความจุของท่อส่งข้อมูล
2. ท่อส่งข้อมูลที่ถูกเลือกจะต้องสามารถส่งข้อมูลนั้นได้
3. ทุกๆกระแสของข้อมูลต้องสามารถส่งไปถึงเครือข่ายปลายทางได้

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความเหมาะสมของโครโมโซมที่ 1 โดยเริ่มต้นจากนำกระแสข้อมูลที่ 1 ซึ่งมาจากเอเอส A_1 จากท่อส่งข้อมูล b_1 ต้องการไปยังเครือข่าย P_5 เมื่อนำมาเข้าฟังก์ชัน $f(A_5, b_5, P_3)$ ซึ่งจากโครโมโซมที่ 1 ถ้ากระแสของข้อมูลต้องการออกไปยังเครือข่ายที่ P_5 ซึ่งต้องทำการตรวจสอบในกลุ่มของ Out(P_5) ว่ามีท่อส่งข้อมูลไหนเป็นสมาชิกอยู่บ้าง ซึ่งในที่นี้มีเพียง b_5 เท่านั้น ดังนั้นจึงต้องส่งออกไปยังท่อส่งข้อมูล b_5 และค่าระยะระหว่าง b_1 และ b_5 มีค่า 30 นำมาคูณกับปริมาณกระแสข้อมูลที่ 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5 ทำให้เครือข่ายเกิดต้นทุนในการส่งข้อมูลครั้งนี้ 150 หน่วย และท่อส่งข้อมูล b_5 ถ้าเริ่มต้นมีความจุอยู่ 100 เมื่อใช้ไปแล้ว 5 ก็ยังเหลือที่สำหรับส่งข้อมูลได้อีก 95 หน่วย การคำนวณจะต้องทำทุกๆ กระแสของข้อมูล ดังในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงวิธีการหาค่าต้นทุนของกระแสข้อมูล

	เอเอส ต้นทาง	ท่อส่งข้อมูลขาเข้า	เครือขายปลายทาง	ท่อส่งข้อมูลขาออก	ระยะทาง	ปริมาณข้อมูล	ต้นทุน
t1 (1,1,5)	1	b_1	P_5	b_5	30	5	150
t2 (2,3,4)	2	b_3	P_4	b_4	20	10	200
t3 (4,4,3)	4	b_4	P_3	b_1	10	10	100
t4 (4,4,2)	4	b_4	P_2	b_2	20	5	100
t5 (5,5,3)	5	b_5	P_3	b_1	30	10	300
t6 (5,5,1)	5	b_5	P_1	b_2	10	5	50
						รวม	900

ทุกๆกระแสข้อมูลจะต้องถูกส่งไปยังเครือข่ายปลายทางได้ ทั้งหมด โดยที่จุดที่จะตรวจสอบข้อจำกัดนี้ได้ก็คือ ปริมาณความจุที่เหลืออยู่ของท่อส่งข้อมูลต้องมากกว่า 0 ตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงปริมาณความจุของท่อทุกท่อที่เหลืออยู่

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าแบนวิดท์ของท่อส่งข้อมูล

ท่อส่งข้อมูล	ปริมาณแบนวิดท์ที่เหลืออยู่
b_1	80
b_2	90
b_3	100
b_4	90
b_5	95

ฟังก์ชันความเหมาะสมที่ใช้ในการทดลองแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพี ได้ใช้วิธีการปรับค่าความเหมาะสมแบบหน้าต่าง ซึ่งเป็นวิธีการปรับค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมโดยพิจารณาจากค่าความเหมาะสมที่ไม่ดี โดยให้ค่านั้นเป็น f_{worst} โดยทำการปรับค่าความเหมาะสมจากสมการ ซึ่งได้แสดงอยู่ในตารางที่ 4.5

$$F = f'_{worst} - f$$

ตารางที่ 4.5 แสดงตัวอย่างวิธีหาค่าความเหมาะสม

โครโมโซม	ค่าความเหมาะสม	f'_{worst}	ค่าความเหมาะสมหลังทำการปรับ
1	900	950	50
2	900	950	50
3	950	950	0

4.2.6 การคัดเลือกโครโมโซม

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

$$pselect_i = F_i / \sum F$$

และสามารถคำนวณค่าที่คาดหวังว่าจะสุ่มได้ (Expected Value: E) ของแต่ละโครโมโซมในแต่ละรุ่นได้จากสมการ

$$E_i = pselect_i \; x \; popsize = F_i / F$$

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

ตัวอย่างวิธีการหาค่าความน่าจะเป็นแสดงอยู่ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงตัวอย่างวิธีการหาค่าความน่าจะเป็น

โครโมโซม	ค่าต้นทุน	ค่าความเหมาะสม	ค่าความน่าจะเป็น	จำนวนที่คาดหวัง	จำนวนที่สุ่มได้จาก *RW*
1	900	50	0.5	1.5	2
2	900	50	0.5	1.5	1
3	950	0	0	0	0
	รวม	100	1.0	3.0	

สำหรับการสุ่มเลือกโครโมโซมต้นแบบทั้ง 3 โครโมโซมนี้โอกาสที่จะสุ่มได้โครโมโซมลำดับที่ 1 และโครโมโซมลำดับที่ 2 ต่อการสุ่มแต่ละครั้งเท่ากับ 0.5 ส่วนโครโมโซมลำดับที่ 3 ซึ่งเป็นโครโมโซมตัวที่ไม่ดีที่สุดในรุ่นจะไปไม่โอกาสถูกเลือกเลย จากนั้นทำการสุ่มโดยการจำลองการหมุนวงล้อจะได้โครโมโซม ซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 4.7 ดังนี้

ตารางที่ 4.7 แสดงตัวอย่างวิธีการสุ่มเลือกโครโมโซมเข้า mating pool

ลำดับโครโมโซม	1	2	3
ค่าความเหมาะสม (F)	50	50	0
ค่าความน่าจะเป็นที่สุ่มได้แต่ละครั้ง $pselect_i$	0.5	0.5	0
ความถี่สะสมค่าความน่าจะเป็น (q_i)	0.5	1	1
สร้างเลขสุ่มในการหมุนวงล้อแต่ละครั้ง (r)	0.333	0.711	0.122
ลำดับโครโมโซมที่ถูกเลือก($q_{i-1} < r < q_i$)	1	2	1

ซึ่งจำนวนที่สุ่มได้เป็นโครโมโซมต้นแบบใน mating pool ของแต่ละโครโมโซมเป็น 2 ,1 และ 0 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงจะมีโอกาสถูกเลือกสูงแต่ถ้าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมต่ำโอกาสที่จะถูกเลือกก็ต่ำตามไปด้วย

4.2.7 การดำเนินการทางพันธุศาสตร์

เป็นขั้นตอนที่จำลองแบบธรรมชาติทางพันธุกรรม ซึ่งตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ของ SGA คือการครอสโอเวอร์ และมิวเตชัน โดยทั้งสองวิธีมีการทำงานดังนี้

การครอสโอเวอร์

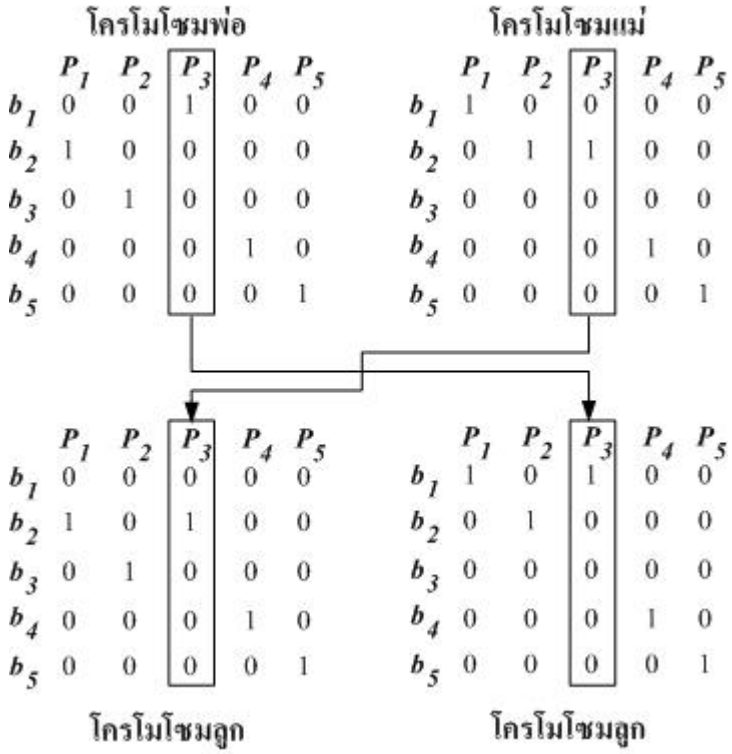
เป็นการดำเนินการในการแลกเปลี่ยนส่วนของโครโมโซมพ่อและแม่ ตามการกำหนดอัตราความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ (Probability of Crossover: P_c) เพื่อสร้างชุดโครโมโซมรุ่นใหม่หรือโครโมโซมลูก ซึ่งมีตัวอย่างแสดงการครอสโอเวอร์อยู่ในรูปที่ 4.8 และมีขั้นตอนในการทำงานดังนี้

1. เริ่มต้นการจากสุ่มจับคู่โครโมโซมพ่อแม่ใน mating pool

2. สร้างเลขสุ่มจำนวนจริง (r) ที่มีค่าอยู่ในช่วง [0.0 , 1.0] โดยถ้าค่า $r < P_c$ แล้วโครโมโซมพ่อแม่จะมีการครอสโอเวอร์ โดยในปัญหานี้กำหนดค่า P_c ไว้ที่ 0.8

3. ครอสโอเวอร์โดยการแลกเปลี่ยนส่วนคู่โครโมโซมพ่อแม่ สำหรับปัญหาการเลือกเส้นทางแบบทางเดียวของบีจีพี เป็นการครอสโอเวอร์แบบ 1 จุด โดยทำการสุ่มเลือกแถวของ P ของโครโมโซมพ่อแม่มาทำการครอสโอเวอร์

4. ตรวจสอบตามข้อจำกัดของปัญหา ว่าเป็นโครโมโซมที่สามารถใช้งานได้หรือไม่



รูปที่ 4.8 แสดงการครอสโอเวอร์ของโครโมโซม

ตารางที่ 4.8 แสดงตัวอย่างการจับคู่โครโมโซมสำหรับการครอสโอเวอร์

โครโมโซม	การสุ่มจับคู่	เลขสุ่ม (r)	ตำแหน่งสุ่ม	โครโมโซมใหม่
1	1,2	0.321	P_3	900
2	2,1	0.73		1000
1	1,2	0.51		900

จากตารางที่ 4.8 การสุ่มจับคู่โครโมโซมพ่อแม่ใน mating pool จะได้โครโมโซมลำดับที่ 1 คู่กับลำดับที่ 2 คู่ที่ 2 กับ 1 และคู่ที่ 1 กับ 2 แต่เนื่องจากเลขสุ่ม ของแต่ละครั้งมีเพียงครั้งแรกครั้งเดียวที่มีค่าน้อยกว่า Pc จึงนำมาทำการครอสโอเวอร์ และจากการสุ่มค่าตำแหน่งการครอสโอเวอร์ได้ตำแหน่งที่ P_3 ผลจากการครอสโอเวอร์สามารถทำให้ผลดีกว่าเดิมหรือแย่กว่าเดิมก็ได้ ซึ่งเป็นการจำลองแบบกระบวนการครอสโอเวอร์ตามธรรมชาติทางพันธุศาสตร์ของ SGA

การมิวเตชัน

เป็นตัวดำเนินการผ่าเหล่าตัวหนึ่งที่อาจช่วยให้โครโมโซม มีค่าความเหมาะสมที่ดีขึ้นได้หลังจากครอสโอเวอร์ โดยทำการกลับค่าของบิทที่สุ่มได้ ตามอัตราความน่าจะเป็นของการมิวเตชันในแต่ละบิท (Probability of Mutation: P_m) ที่กำหนด สำหรับการมิวเตชันของ SGA นั้นเป็นแบบไบนารีมิวเตชัน โดยการกลับค่าบิทเป็นค่าคอมพลีเมนต์ คือจาก 0 เป็น 1 และจาก 1 เป็น 0 และกำหนดค่า P_m ไว้ที่ 0.02

1. เริ่มต้นจากการทำการสุ่มเลือกโครโมโซมที่จะนำมาทำการมิวเตชันโดยให้ทำการสุ่มค่า r ให้กลับแต่ละตำแหน่งแต่ละบิทของโครโมโซมดังรูป 4.9

โครโมโซมพ่อ

	P_1	r_1	P_2	r_2	P_3	r_3	P_4	r_4	P_5	r_5
b_1	0	0.34	0	0.01	1	0.45	0	0.55	0	0.77
b_2	1	0.33	0	0.43	0	0.83	0	0.35	0	0.59
b_3	0	0.89	1	0.51	0	0.91	0	0.67	0	0.71
b_4	0	0.78	0	0.34	0	0.49	1	0.42	0	0.30
b_5	0	0.51	0	0.66	0	0.37	0	0.91	1	0.53

รูปที่ 4.9 แสดงการสุ่มค่า r สำหรับการมิวเตชัน

2. ทำการกลับค่าบิทในจุดที่มีค่าน้อยกว่า P_m และเป็นจุดไม่ขัดกับข้อกำหนด ดังตัวอย่างที่แสดงในรูป 4.10

โครโมโซมพ่อ

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
b_1	0	0	1	0	0
b_2	1	0	0	0	0
b_3	0	1	0	0	0
b_4	0	0	0	1	0
b_5	0	0	0	0	1

โครโมโซมลูก

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
b_1	0	1	1	0	0
b_2	1	0	0	0	0
b_3	0	0	0	0	0
b_4	0	0	0	1	0
b_5	0	0	0	0	1

รูปที่ 4.10 แสดงการมิวเตชันของโครโมโซม

3. ทำการตรวจสอบโครโมโซมลูกที่ได้มาว่าขัดกับข้อจำกัดหรือไม่

จากการสุ่มตำแหน่งที่มิวเตชันโดยสร้างเลขสุ่ม r ของแต่ละตำแหน่งบิทในแต่ละโครโมโซมแล้ว ตำแหน่งของ P_2 ที่บิทแรก เมื่อบิทแรกของโครโมโซมพ่อเป็น 0 จึงทำการกลับค่าเป็น 1 จากนั้นจึงกลับค่าบิทที่ 3 ที่มีค่าเป็น 1 อยู่แล้วให้มีค่าเป็น 0 จะเห็นได้ว่ามิวเตชันเป็นตัวดำเนินการที่อาจทำให้โครโมโซมมีค่าความเหมาะสมสูงขึ้นหรือลงลงก็ได้

4.2.8 ประชากรรุ่นใหม่

เป็นชุดโครโมโซมลูกที่เกิดจากขั้นตอนของวิวัฒนาการต่างๆ ทั้งหมด ซึ่งประชากรรุ่นใหม่ทั้งหมดที่เกิดขึ้น จะถูกถ่ายทอดกลายเป็นประชากรรุ่นเก่าสำหรับวิวัฒนาการในรุ่นถัดไป ซึ่งแรกว่าการรีโพรดักชัน กระบวนการต่างๆ จะถูกปฏิบัติซ้ำๆ จนกระทั่งถึงรุ่นที่กำหนดไว้ ซึ่งในปัญหานี้ เราเลือกใช้การเก็บค่าโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ที่ดีที่สุดไว้หนึ่งตัว เพื่อเป็นการส่งต่อทางพันธุ์กรรมไปสู่ประชากรรุ่นต่อไป แต่ถ้าไม่สามารถให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่ จากการครอสโอเวอร์หรือมิวเตชันได้ ก็จะนำประชากรรุ่นเก่าเปลี่ยนเป็นประชากรรุ่นใหม่ เพื่อที่จะนำไปเข้ากระบวนการทำงานของโปรแกรมต่อไป

4.2.9 การสิ้นสุดการทำงานของอัลกอริทึมจีเนติก

การทำงานของอัลกอริทึมจะสิ้นสุดก็ต่อเมื่อ ทำงานครบรอบเจเนเรชันที่กำหนด ซึ่งการกำหนดจำนวนสูงสุดของรอบการทำงานของอัลกอริทึมแบบจีเนติกอาจจะทำให้การทำงานของโปรแกรมในการนำเอาไปใช้จริงช้า ดังนั้นจึงทำการประยุกต์ใช้แบบการรักษาสถานะภาพ โดยที่คำตอบของโครโมโซมที่ดีที่สุดไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกินกว่าสิบเจเนเรชัน ซึ่งถือได้ว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุดของการทำงานของอัลกอริทึมจีเนติกแล้วเช่นกัน

4.2.10 สรุปการทำงานของอัลกอริทึมจีเนติกแบบง่าย

ภายในงานวิจัยชิ้นนี้ ได้ทำการแบ่งอัลกอริทึมจีเนติกแบบง่าย โดยวัตถุประสงค์หลักคือการหาค่าต้นทุนต่ำที่สุดในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย โดยที่ ข้อมูลทั้งหมดจะต้องสามารถส่งไปยังเครือข่ายปลายทางได้ และปริมาณข้อมูลที่ส่งจะต้องไม่เกินปริมาณท่อส่งข้อมูล ซึ่งงานวิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 อัลกอริทึมตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งแบ่งออกเป็นการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยไม่คำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา และการสุ่มประชากรเริ่มต้นโดยคำนึงถึงเงื่อนไขของปัญหา คือผลของการทำงานของอัลกอริทึมทั้งสองแสดงอยู่บทที่ 6 แต่ผลโดยรวมจากการเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมเดิมที่มีอยู่ อย่างเช่น MPPF อัลกอริทึม SGA ทั้งสองอัลกอริทึมยังให้ค่าต้นทุนที่สูงกว่า ดังนั้นจึมีแนวคิดในการพัฒนาอัลกอริทึม SGA ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งมีได้หลายแนวทาง ซึ่งอาจจะเป็นการปรับปรุงด้านตัวดำเนินการด้านพันธุ์กรรม เช่นการครอสโอเวอร์ให้มีจำนวนจุดที่ใช้ในการครอสโอเวอร์มากขึ้น หรือการใช้ฮิวริสติกเข้ามาปรับปรุงซึ่งเป็นตัวเลือกที่ถูกเลือกในงานวิจัยนี้