บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาและจัดตารางโครงการของธุรกิจศึกษาชีวสมมูลโดยได้นำเอาอัลกอริทึมการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคแบบมีรัศมีที่เหมาะสมที่สุดมาใช้จัดการมีจุดมุ่งหมายที่สำคัญเพื่อจะให้ระยะเวลาในการจัดตารางการทำงานให้สั้นที่สุด และใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะประกอบไปด้วย

1. การศึกษาชีวสมมูล อธิบายความหมาย กระบวนการและสิ่งที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาชีวสมมูล
2. อัลกอริทึมการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด
3. อัลกอริทึมการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคแบบมีรัศมีที่เหมาะสมที่สุด
4. วิธีการเชิงพันธุกรรม
5. ปัญหาการจัดงาน
6. เทคนิคการจัดการโครงการและการประเมิน
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาชีวสมมูล

อิสริยา เตชะธนะวัฒน์ (2552) ได้ศึกษาเรื่อง *การศึกษาชีวสมมูลและการศึกษาทางด้านคลินิก* พบว่า ผลการรักษาที่ดีจะเกิดขึ้นเมื่อตัวยาสำคัญของยาที่ได้นำมาใช้รักษามีความสามารถเข้าสู่ตำแหน่งของการออกฤทธิ์ในปริมาณที่ให้ผลการรักษา และระยะเวลาพอเพียง ดังนั้นการศึกษาประสิทธิผลของยาที่มีส่วนประกอบของตัวยาสำคัญ

ที่ต้องการรักษาจึงเป็น รูปแบบการทำนายว่ายานั้นให้ผลการรักษาที่ดีหรือไม่ ผลการรักษาที่แตกต่างกันของยามีความสัมพันธ์กับค่าชีวประสิทธิผลของตัวยาสำคัญ จำเป็นที่จะต้องศึกษาการปลดปล่อยตัวยาสำคัญของยาจนกระทั่งถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด และยังตำแหน่งของการออกฤทธิ์เพื่อให้ทราบค่าชีวประสิทธิผลของตัวยาที่ถูกปลดปล่อยออกจากยานั้น ๆ เฉพาะอย่างยิ่งยาสามัญ (generic product) ซึ่งมีตัวยาสำคัญเดียวกันกับยาต้นแบบ (innovator product) การที่ยาจะให้ผลการรักษาที่เท่าเทียมกันยานั้น ๆ จะต้องมีความเท่าเทียมทางเภสัชกรและชีวสมมูล หรือมีชีวประสิทธิผลที่เท่ากัน ซึ่งการประเมินความเท่าเทียมกัน โดยทั่วไปต้องทำการศึกษาในมนุษย์ และโดยที่ กระทรวงสาธารณสุข, สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, กองควบคุมยา (2543) ได้อธิบาย *หลักเกณฑ์และแนวปฏิบัติในการศึกษาชีวสมมูลของยาสามัญ* ดังต่อไปนี้

1. วิธีศึกษาเปรียบเทียบทางเภสัชจลนศาสตร์หรือวิธีการศึกษาชีวมูล ซึ่งการศึกษาเปรียบเทียบทางเภสัชจลนศาสตร์หรือชีวสมมูลใช้หลักการที่ว่า เมื่อให้ยาสองชนิดในคนแล้ว ถ้าระดับยาในเลือดที่เวลาต่าง ๆ อยู่ในระดับเดียวกัน ความเข้มข้นของยาที่ตำแหน่งของการออกฤทธิ์ควรมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้โดยสมมติฐานว่าระดับยาในเลือดมีความสมดุลกันกับระดับยาในตำแหน่งของการออกฤทธิ์ ดังนั้นการรักษาของยาทั้งสองน่าจะเหมือนกัน ข้อมูลเภสัชจลนศาสตร์สามารถพิสูจน์ความเท่าเทียมของการรักษาของยาทั้งสองได้โดยวิธีดังกล่าวเป็นที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากสามารถวัดการปลดปล่อยตัวยาจนกระทั่งถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้โดยตรง ส่วนใหญ่จึงใช้ในการศึกษายาที่หวังผลการดูดซึมหรือออกฤทธิ์

2. วิธีศึกษาเปรียบเทียบทางเภสัชพลศาสตร์ เป็นการศึกษาโดยการเปรียบเทียบค่าทางเภสัชพลศาสตร์ในอาสาสมัครที่มีสุขภาพดี หรือในผู้ป่วยโดยอาจใช้พิสูจน์ความเท่าเทียมของผลการรักษาระหว่างยาสองชนิด

3. วิธีศึกษาเปรียบเทียบทางคลินิก ในบางกรณีไม่สามารถใช้วิธีศึกษาเปรียบเทียบทางเภสัชจลนศาสตร์ในการประเมินความเท่าเทียมได้ เนื่องจากไม่สามารถวัดระดับยาในเลือดที่เวลาต่าง ๆ ได้ และบางครั้งการใช้ค่าทางเภสัชพลศาสตร์ไม่สามารถดำเนินการได้เนื่องจากไม่มีพารามิเตอร์ทางเภสัชพลศาสตร์ที่เหมาะสม

จะใช้วิธีการศึกษาเปรียบเทียบทางคลินิก เพื่อศึกษาความเท่าเทียมของผลการรักษาระหว่างยาสองชนิดทดแทน อย่างไรก็ตามวิธีศึกษาเปรียบเทียบทางคลินิกนั้นมีความไวน้อยกว่าวิธีศึกษาเปรียบเทียบทางเภสัชจลนศาสตร์และทางเภสัชพลศาสตร์ และต้องการอาสาสมัครจำนวนมากกว่าเพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือทางสถิติ

4. วิธีศึกษาเปรียบเทียบในหลอดทดลอง เป็นวิธีพิสูจน์ความเท่าเทียมยาที่สะดวกรวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่าย นิยมใช้ศึกษาร่วมกับการศึกษาในสิ่งมีชีวิต

จากวิธีการที่กล่าวมาข้างต้น วิธีการศึกษาโดยใช้วิธีศึกษาเปรียบเทียบทางเภสัช-จลนศาสตร์หรือชีวสมมูล และวิธีศึกษาเปรียบเทียบในหลอดทดลอง โดยเฉพาะรูปแบบการศึกษาการละลายในหลอดทดลอง เป็นวิธีพิสูจน์ความเท่าเทียมของผลการรักษาที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในยาที่ให้โดยการรับประทานหวังผลการดูดซึมหรือออกฤทธิ์ทั้งร่างกาย ปัจจุบันจึงเน้นไปที่รูปแบบการศึกษาเปรียบเทียบทางเภสัชจลนศาสตร์หรือชีวสมมูล และวิธีการศึกษาเปรียบเทียบการละลายของยา เพื่อใช้แนวทางในการศึกษาความเท่าเทียมกันของผลการรักษาระหว่างยาทดสอบกับยาอ้างอิง หรือที่นิยมทั่วไป คือ ระหว่างยาสามัญกับยาต้นแบบ และเป็นหลักประกันในประสิทธิผลและคุณภาพของยา

ความเท่าเทียมทางเภสัชกรรม หมายถึง ยาที่มีความเท่าเทียมทางเภสัชกรรมต้องมีตัวยาสำคัญ ขนาดความรุนแรง รูปแบบยาเดียวกัน โดยอาจมีส่วนผสม หรือการผลิตแตกต่างกัน อาจทำให้การละลายในร่างกาย และมีการดูดซึมยาช้าหรือเร็วต่างกัน

ชีวประสิทธิผล หมายถึง อัตราและปริมาณตัวยาหรือโครงสร้างของส่วนออกฤทธิ์ที่ถูกดูดซึมจากยาเข้าสู่กระแสเลือด และกระจายไปถึงตำแหน่งของการออกฤทธิ์

ชีวสมมูล หมายถึง ยาจะมีชีวสมมูลเมื่อยานั้นมีความเท่าเทียมกันทางเภสัชกรรมหลังจากให้ยาที่มีขนาดยาเดียวกัน ค่าชีวประสิทธิผลเท่าเทียมกัน

ความเท่าเทียมกันทางผลการรักษา หมายถึง ยาจะมีความเท่าเทียมผลการรักษาก็ต่อเมื่อยานั้นมีตัวยาสำคัญหรือโครงสร้างของส่วนออกฤทธิ์เหมือนกัน จากการให้ยาในขนาดเท่าเทียมกันแล้ว

ยาต้นแบบ หมายถึง ยาที่ผลิตและได้รับอนุญาตให้จำหน่ายเป็นรายแรกในท้องตลาดโดยมีข้อมูลด้านประสิทธิภาพ และความปลอดภัย

ยาอ้างอิง หมายถึง ยาที่ใช้เป็นมาตรฐานในการศึกษาเปรียบเทียบความเท่าเทียมในด้านเภสัชกรรม ชีวประสิทธิผล ผลการรักษา และความปลอดภัย

รูปแบบการดำเนินการศึกษา

การศึกษาชีวสมมูล คือ การศึกษาเปรียบเทียบชีวประสิทธิผล ระหว่างยาทดสอบและยาอ้างอิง ทำโดยการเปรียบเทียบระดับยาในเลือดหรือปัสสาวะที่ระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากให้ยาทั้งสองในมนุษย์ โดยส่วนใหญ่ยาอ้างอิง คือ ยาต้นแบบมีข้อมูลการศึกษาทางพิษวิทยา เภสัชวิทยา และคลินิกเป็นที่ยอมรับถึงประสิทธิภาพความปลอดภัยแล้ว

สำหรับข้อพิจารณาทางจริยธรรมการดำเนินการศึกษาชีวสมมูลจะเป็นไปตามเกณฑ์การปฏิบัติการวิจัยทางคลินิกที่ดี โดยคำนึงถึงสิทธิความปลอดภัย ก่อนเริ่มศึกษาอาสาสมัครจะได้รับคำชี้แจงถึงประโยชน์ ความเสี่ยงที่อาจเกิดจากการศึกษาวิจัยอย่างครบถ้วนจนเป็นที่พอใจ และยินยอมเข้าร่วมการศึกษาด้วยความเต็มใจ โดยลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมไว้เป็นหลักฐาน

การดำเนินการศึกษาชีวสมมูลต้องเป็นไปตามรายระเอียดที่ระบุในโครงร่างการศึกษา ซึ่งเป็นรูปแบบข้อตกลงร่วมกันระหว่างผู้ดำเนินการศึกษาและผู้ว่าจ้าง โดยการลงนามร่วมกันไว้เป็นหลักฐาน การเปลี่ยนแปลงในโครงร่างจะต้องได้รับความเห็นชอบและมีการลงนามร่วมกันของทั้งสองฝ่าย โดยผู้ดำเนินการศึกษาจะเป็นผู้รับผิดชอบให้การศึกษาเป็นไปตามโครงร่างอย่างเคร่งครัด ผู้ดำเนินการศึกษาไม่สามารถเปลี่ยนแปลงการศึกษาใดที่ไม่ได้ระบุไว้ในโครงร่าง โดยไม่ได้รับความเห็นชอบจากผู้ว่าจ้าง

วิธีดำเนินการศึกษา

มีขั้นตอนการทำงานการศึกษาดังต่อไปนี้

1. การให้ยามีการแบ่งกลุ่มอาสาสมัครเพื่อให้ได้รับยาแต่ละตำรับต้องทำแบบสุ่ม

2. ขนาดยาที่ใช้ในการศึกษาโดยทั่วไปใช้ขนาดความแรงสูงสุดที่มีการจำหน่ายในท้องตลาดระยะห่างของการใช้ยาจะกำหนดตามโครงร่างการศึกษา

3. การเก็บตัวอย่างจะเป็นตามความถี่และระยะเวลาที่กำหนดในโครงร่างศึกษา ปริมาณตัวอย่างที่เก็บต้องเพียงพอสำหรับวิเคราะห์ และควรคำนึงถึงความปลอดภัยของอาสาสมัครเป็นสำคัญ ทั่วไปนิยมเก็บปริมาณตัวอย่างประมาณ 5 ถึง 10 มิลลิลิตร และควรเก็บรักษาตัวอย่างไว้ในสภาวะและอุณหภูมิที่เหมาะสม

อาสาสมัคร

อาสาสมัครสำหรับการศึกษาชีวสมมูลมีรูปแบบและข้อกำหนดดังนี้

1. จำนวนอาสาสมัครไม่ต่ำกว่า 12 คน และต้องระบุวิธีการคำนวณจำนวนอาสาสมัครไว้ในโครงร่างการศึกษาด้วย

2. กรณีอาสาสมัครถอนตัวในปฏิบัติจะทำการศึกษาเพิ่มในอาสาสมัครสำรอง

3. การคัดเลือกอาสาสมัครจะมีการระบุเกณฑ์การคัดเลือกอาสาสมัครเข้าร่วมในการศึกษาไว้อย่างชัดเจนในโครงร่างการศึกษาชีวสมมูล

ขั้นตอนการศึกษาชีวสมมูล

ขั้นตอนการศึกษาชีวสมมูลประกอบไปด้วย 10 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาว่ายาเข้าข่ายหลักเกณฑ์ข้อใด

ขั้นตอนที่ 2 ติดต่อสถานที่หรือสถาบันและผู้ดำเนินการ

ขั้นตอนที่ 3 เขียนโครงร่างวิธีการศึกษา

ขั้นตอนที่ 4 ยื่นโครงการให้กองควบคุมยาพิจารณา

ขั้นตอนที่ 5 ยื่นขออนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรม

ขั้นตอนที่ 6 อนุมัติโครงร่าง

ขั้นตอนที่ 7 ดำเนินการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 8 รวบรวมและประเมินผล

ขั้นตอนที่ 9 รายงานผล

ขั้นตอนที่ 10 ส่งรายงานผล

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้เป็นการจัดการในขั้นตอนที่ 7 โดยนำตารางการทำงานมาจัดการ สำหรับการทำงานในขั้นตอนนี้จะเริ่มตั้งแต่อาสาสมัครเข้ามาตรวจร่างกายว่าอยู่ในสภาวะปกติ และตรงกับหลักเกณฑ์ของโครงการ นัดหมายให้อาสาสมัครเข้ามานอนที่หอผู้ป่วยเพื่อรับยาและทำการเจาะเลือด อาสาสมัครจะนอนอยู่ที่หอผู้ป่วยตามวันที่ได้กำหนดไว้ และได้รับการเจาะเลือดเพื่อเป็นตัวอย่างที่ใช้สำหรับการทดสอบ สำหรับการทดสอบจะกำหนดการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ ขั้นตอนการทำงาน และวิธีทดสอบ

การเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด

อัลกอริทึมการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด ถูกพัฒนาขึ้นโดย Kennedy and Eberchart (1995) สำหรับอัลกอริทึมนี้มีแรงดลใจมาจากธรรมชาติโดยเฉพาะการเคลื่อนที่ของฝูงนก หรือฝูงปลา โดยมีรูปแบบการเคลื่อนที่เป็นการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบย่อย เพื่อทำให้องค์ประกอบย่อยสามารถที่จะสื่อสารและโต้ตอบกัน จากในธรรมชาติจะเห็นว่า ฝูงนกหรือฝูงปลาสามารถรวมกันเป็นฝูง และสามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันได้ อัลกอริทึมการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เหมาะสมที่สุดมีคุณสมบัติหลายอย่างที่มีความเหมือนกับการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ เช่น วิธีการเชิงพันธุกรรม โดยขั้นตอนการทำงานหลักจะสุ่มประชากรเริ่มต้น และหาคำตอบที่เหมาะสม รวมทั้งจะมีการปรับประชากรทุกรอบของการคำนวณ

การเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เหมาะสมที่สุดเป็นอัลกอริทึมเชิงประชากร โดยมีส่วนประกอบของกลุ่มหรืออนุภาคในกลุ่มย่อยจะร่วมมือกันแก้ปัญหา และสิ่งที่น่าสนใจของอัลกอริทึมนี้ คือ ความเรียบง่าย มีการนำเอาอัลกอริทึมดังกล่าวไปใช้หลายงาน เช่น วิชิต เครือสุข (2552) ได้หาตำแหน่งและขนาดกำลังผลิตที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย และจากงานวิจัยที่ผ่านมา ได้ศึกษาเปรียบเทียบและวิจารณ์ประสิทธิภาพการทำงานของการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เหมาะสมที่สุดกับวิธีอื่น ๆ พบว่า วิธีดังกล่าวสามารถให้คำตอบดีกว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมในบางปัญหา แต่อย่างไรก็ตามในหลาย ๆ งานวิจัยได้กล่าวถึง ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเคลื่อนที่ของ

กลุ่มอนุภาคที่เหมาะสมที่สุดจะขึ้นอยู่กับปัญหาที่ต้องการค้นหาคำตอบ และพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับแต่งด้วย

อัลกอริทึมการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เหมาะสมที่สุดถือเป็นเครื่องมือค้นหาแบบปัญญาประดิษฐ์ โดยจะมีกลุ่มประชากรที่เรียกว่า "อนุภาค" ซึ่งจะมีการเคลื่อนที่ไปในปริภูมิการค้นหา แต่ละอนุภาคจะมีเวกเตอร์ตำแหน่งและเวกเตอร์ความเร็วระบุตำแหน่งและทิศทางในการเคลื่อนที่ อนุภาคแต่ละตัวจะจดจำตำแหน่ง และคำตอบที่ตัวเองค้นพบ และค่าที่อนุภาคแต่ละตัวค้นพบจะถูกกำหนดให้เป็น *pbest* ซึ่งเป็นค่าจากประสบการณ์ของแต่ละอนุภาค ส่วนคำตอบที่ดีที่สุดในกลุ่มของค่า *pbest* จะถูกกำหนดให้เป็น *gbest* สำหรับในการทำงานกำหนดให้ปริภูมิการค้นหาเป็น 2 มิติ กลุ่มอนุภาคแทนด้วย x_i และตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค x_i ที่ถูกค้นพบแทนด้วย P_{xi} โดยที่ $i = 1, \ldots, n$ กำหนดให้ n คือจำนวนอนุภาคที่กำหนดขึ้นในการทดลอง และแต่ละอนุภาคจะถูกปรับตำแหน่งโดยอาศัยสมการ (1), สมการ (2) และสมการ (3)

$$v_i^{t+1} = wv_t + c_1 r_1 (posp_{xi}^t - x_i^t) + c_2 r_2 (posg^t - x_i^t) \quad (1)$$

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1} \quad (2)$$

$$w = w_{\max} - \left(\frac{w_{\max} - w_{\min}}{k_{\max}} \right) . k \quad (3)$$

กำหนดให้

$posp$ = ตำแหน่งของค่า *pbest*

$posg$ = ตำแหน่งของค่า *gbest*

w = น้ำหนักการถ่วง

c_1, c_2 = ตัวประกอบการเร่ง

กำหนดให้ $c_1 + c_2 \leq 4$

$w_{\min}$ = น้ำหนักต่ำสุด

$w_{\max}$ = น้ำหนักสูงสุด

k = รอบปัจจุบันที่ทำการค้นหา

$k_{\max}$ = รอบการค้นหาสูงสุด

r_1, r_2 = ตัวเลขสุ่มในช่วง $[0,1]$

จากเทอมที่ 1 ของสมการ (1) เรียกว่า ความเฉื่อยของอนุภาค ส่วนเทอมที่ 2 ของสมการ (1) จะเรียกว่าองค์ประกอบเชิงปริชานแทนประสบการณ์ค้นหาคำตอบ และในส่วนเทอม 3 ของสมการ (1) จะเรียกว่าองค์ประกอบเชิงสังคมแทนประสบการณ์การค้นหาของกลุ่มอนุภาค

1: *{Initial paremeters}*
2: *Let n ,k_{max} ,k=0 , w_{min},w_{max}, c_1,c_2, Stop_Condition*
3: *{Initial position and velocity}*
4: *For i=1 : n*
5: *random x, y*
6: *Set $x_i = x$*
7 *Set $y_i = y$*
8: *Set $pbestx_i = pbestx_i$*
9: *End For*
10: *{Find gbest}*
11:*While(Stop_Codition or $k=k_{max}$) do*
12: *if ($pbestx_{i+1}$ greater then $pbestx_i$)*
13: *set pbest $x_i = pbestx_{i+1}$*
14: *if ($pbestx_i$ greater then gbest)*
15: *set gbest = $pbestx_i$*
16: *CalculateVelocity(v_i):20*
17: *UpdatePosition(x_i):27*
18: *k=k+1*
19: *End While*
20:*CalculateVelocity(v_i)*
21:*Begin*
22: $$w = w_{\max} - \left(\frac{w_{\max} - w_{\min}}{k_{\max}} \right) .k$$
23: $$v_i^{t+1} = wv_t + c_1 r_1 (posp_{xi}^t - x_i^t) + c_2 r_2 (posg^t - x_i^t)$$
24: *Return V*
25:*End*
27:*UpdatePostion(v_i)*
28:*Begin*
29: $$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1}$$
30: *Return X*
31:*End*
32:*Finally save gbest*

ภาพ 1 รหัสเทียมการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด แสดงได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดปริภูมิการค้นหาโดยกำหนดค่า k_{max} ค่า $k = 0$ และกำหนดเงื่อนไขการหยุดทำงาน

ขั้นตอนที่ 2 ทำการสุ่มเวกเตอร์ตำแหน่งและความเร็วให้กับแต่ละอนุภาค

ขั้นตอนที่ 3 ตำแหน่งของแต่ละอนุภาคจะเปลี่ยนไปตามสมการ (2)

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดค่าความเหมาะสม *pbest* เริ่มต้นของอนุภาคแต่ละตัวให้เท่ากับค่าของตัวอนุภาคเอง

ขั้นตอนที่ 5 ประเมินค่าความเหมาะสมของทุกอนุภาค

(1) ถ้าค่าความเหมาะสม *pbest* ของอนุภาค x_i มีค่าดีกว่า ความเหมาะสมที่ดีที่สุดของอนุภาคนั้นในรอบก่อนหน้าให้ปรับค่าความเหมาะสม *pbest* ของอนุภาค x_i

(2) ถ้าค่าความเหมาะสม *pbest* ของอนุภาค x_i มีค่าดีกว่า ความเหมาะสมที่ดีที่สุดของอนุภาคทั้งกลุ่มเรียกว่า *gbest* ในรอบก่อนหน้า ให้ปรับค่า *gbest* ตามค่าความเหมาะสม *pbest* ของอนุภาค x_i ในรอบปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 6 ตรงตามเงื่อนไขการหยุดทำงานหรือไม่

(1) ตรงตามเงื่อนไขข้ามไปยังขั้นตอนที่ 8

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณค่าเวกเตอร์ความเร่งของแต่ละอนุภาคตามสมการ (1) เสร็จกลับไปยังขั้นตอนที่ 3

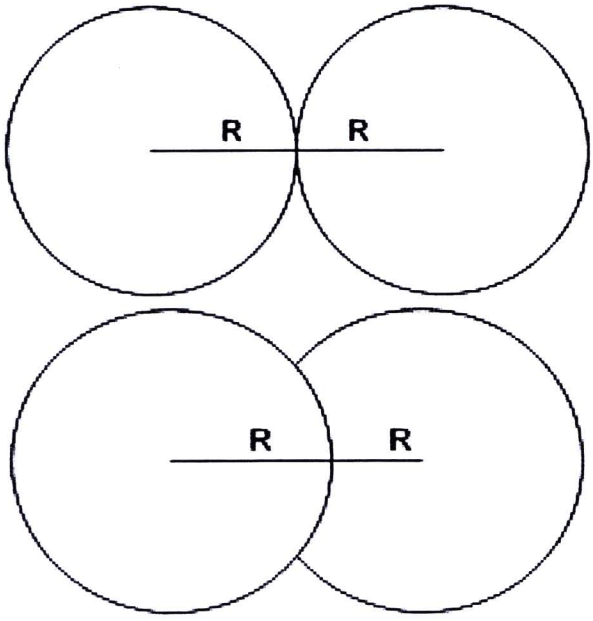
ขั้นตอนที่ 8 จบการทำงาน

การเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคแบบมีรัศมีที่เหมาะสมที่สุด

จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ได้มีการศึกษาและปรับปรุงอัลกอริทึมการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคอย่างเหมาะสมที่สุดหลายรูปแบบ หรือการเพิ่มค่าพารามิเตอร์เพื่อทำให้การทำงานมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น เพื่อวัตถุประสงค์การค้นหาคำตอบให้ถูกต้องและรวดเร็วมากขึ้น

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 21 มิ.ย. 2555
เลขทะเบียน 246968
เลขเรียกหนังสือ

งานวิจัยฉบับนี้ได้ปรับปรุงกระบวนการทำงานภายใน โดยได้มีการเพิ่มขั้นตอนการตรวจสอบความใกล้กันของอนุภาค เพื่อให้อนุภาคแต่ละตัวทำการตรวจสอบกันเองในกลุ่มย่อย โดยกำหนดให้อนุภาคมีรูปร่างเป็นวงกลมแต่ละตัวมีรัศมี R และกำหนดขอบเขตของกลุ่มอนุภาคในกลุ่มย่อยสำหรับใช้ในการค้นหาค่า *pbest* เพื่อเป็นตัวแทน สำหรับขอบเขตของกลุ่มอนุภาคนี้คำนวณจากสมการ (4)



ภาพ 2 รัศมีและขอบเขตของกลุ่มอนุภาคย่อย

$$d = \sqrt{(p_{x_{i1}} - p_{x_{i2}})^2 + (p_{y_{i1}} - p_{y_{i2}})^2} \qquad (4)$$

กำหนดให้ $d \le 2R$ โดยที่

R = ค่ารัศมี

d = ระยะห่างของอนุภาคแต่ละตัว

$p(x_i, y_i)$ = ตำแหน่งของอนุภาค i บนปริภูมิการค้นหา

ดังนั้นจากขั้นตอนการทำงานเดิมของอัลกอริทึมการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด จะถูกปรับเป็นขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคแบบมีรัศมีที่เหมาะสมที่สุดดังนี้

1: *{Initial paremeters}*
2: *Let n ,k_{max} ,k=0 , w_{min},w_{max}, c_1,c_2,R, Stop_Condition*
3: *{Initial position and velocity}*
4: *For i=1 : n*
5: *random x, y*
6: *set $x_i = x$*
7 *SET $y_i = y$*
8: *SET $pbestx_i = pbestx_i$*
9: *End For*
10: *{Find gbest}*
11:*While(Stop_Codition or $k=k_{max}$) do*
12: *CalculateDistance(x_i):23*
13: *While(d <= 2R) do*
14: *if ($pbestx_{i+1}$ greater then $pbestx_i$)*
15: *set pbest $x_i = pbestx_{i+1}$*
16: *End While*
17: *if ($pbestx_i$ greater then gbest)*
18: *set gbest = $pbestx_i$*
19: *CalculateVelocity(v_i):29*
20: *UpdatePosition(x_i):35*
21: *k=k+1*
22: *End While*
23:*CalculateDistance(x_i)*
24:*Begin*
25:
26: $$d = \sqrt{(p_{x_{i1}} - p_{x_{i2}})^2 + (p_{y_{i1}} - p_{y_{i2}})^2}$$
27: *Return d*
28:*End*
29:*CalculateVelocity(v_i)*
30:*Begin*
31: $$w = w_{\max} - \left(\frac{w_{\max} - w_{\min}}{k_{\max}} \right).k$$
32: $$v_i^{t+1} = wv_t + c_1 r_1 (posp_{xi}^t - x_i^t) + c_2 r_2 (posg^t - x_i^t)$$
33: *Return V*
34:*End*
35:*UpdatePostion(v_i)*
36:*Begin*
37: $$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1}$$
38: *Return X*
39:*End*
40:*Finally save gbest*

ภาพ 3 รหัสเทียมการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคแบบมีรัศมีที่เหมาะสมที่สุด

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดปริภูมิการค้นหา โดยกำหนดค่า R, k_{max} และ ค่า $k = 0$ และกำหนดเงื่อนไขการหยุดทำงาน

ขั้นตอนที่ 2 ทำการสุ่มเวกเตอร์ตำแหน่งและความเร็วให้กับแต่ละอนุภาค

ขั้นตอนที่ 3 ตำแหน่งของแต่ละอนุภาคจะเปลี่ยนไปตามสมการ (2)

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดค่าความเหมาะสม *pbest* เริ่มต้นของอนุภาคแต่ละตัวให้มีค่าเท่ากับค่าของตัวอนุภาคเอง

ขั้นตอนที่ 5 จัดขอบเขตกลุ่มอนุภาคย่อยคำนวณตามสมการ (4)

ขั้นตอนที่ 6 จัดกลุ่มอนุภาคย่อยตามข้อกำหนด $d \leq 2R$

ขั้นตอนที่ 7 ประเมินค่าความเหมาะสมของทุกอนุภาค

(1) ถ้าค่าความเหมาะสม *pbest* ของอนุภาค x_i มีค่าดีกว่า ความเหมาะสมที่ดีที่สุดของอนุภาคย่อยนั้น ๆ ในรอบก่อนหน้า ให้ปรับค่าความเหมาะสม *pbest* ของอนุภาค x_i

(2) ถ้าค่าความเหมาะสม *pbest* ของอนุภาค x_i มีค่าดีกว่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดของอนุภาคทั้งกลุ่มเรียกว่า *gbest* ในรอบก่อนหน้า ให้ปรับค่า *gbest* ตามค่าความเหมาะสม *pbest* ของอนุภาค x_i ในรอบปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 8 ตรงตามเงื่อนไขการหยุดทำงานหรือไม่

(1) ตรงตามเงื่อนไขข้ามไปยังขั้นตอนที่ 10

ขั้นตอนที่ 9 คำนวณค่าเวกเตอร์ความเร่งของแต่ละอนุภาคตาม สมการ (1) กลับไปยังขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 10 จบการทำงาน

วิธีการเชิงพันธุกรรม

วิธีการเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีการค้นหาคำตอบใช้หลักการคัดเลือกแบบธรรมชาติและหลักการทางสายพันธุ์ได้รับการยอมรับ และได้จัดอยู่ในกลุ่มคำนวณเชิงวิวัฒนาการถูกนำมาใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม งานวิจัยฉบับนี้ได้นำวิธีการเชิงพันธุกรรม

มาเปรียบเทียบผลของการจัดงานกับอัลกอริทึมการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคแบบมีรัศมีที่เหมาะสมที่สุด

สำหรับวิธีการเชิงพันธุกรรมพัฒนาโดย John Holland มีการนำเอาไปใช้ในงานหลาย ๆ อย่าง เช่น ไพฑูรย์ ศรีนิล, พรเทพ โรจนวสุ และเอื้อน ปิ่นเงิน (2548) ได้มีการนำไปใช้จัดตารางการสอน เป็นต้น และมีการนำวิธีการเชิงพันธุกรรมไปใช้ร่วมกับอัลกอริทึมหรือวิธีการอื่น ๆ เช่น Premalatha and Natarajan (2009) ไปใช้ร่วมอัลกอริทึมการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด หรือมีการปรับปรุงการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรมให้มีการทำงานให้เหมาะสมกับงานเฉพาะด้านมากขึ้น

วิธีการเชิงพันธุกรรมเป็นกระบวนการหาคำตอบให้กับระบบโดยวิธีธรรมชาติ ประกอบไปด้วย 3 กระบวนการหลัก ได้แก่

1. การคัดเลือกสายพันธุ์ คือ การคัดเลือกประชากรที่ดีที่สุดเพื่อกำเนิดสายพันธุ์ลูกหลาน

2. การปฏิบัติการทางสายพันธุ์ คือ การเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครโมโซมด้วยวิธีการทางสายพันธุ์เพื่อทำให้ลูกหลานมีส่วนผสมของพ่อแม่

3. การแทนที่ คือ การนำลูกหลานแทนที่ประชากรรุ่นก่อนมีขบวนการคัดเลือกว่าควรจะเอาลูกหลานกลุ่มใด จำนวนเท่าไร ไปแทนที่ประชากรก่อน

รูปแบบการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม พบว่า วิธีการเหมือนกับการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติ มีรูปแบบในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมเพื่อที่จะให้มีชีวิตอยู่ต่อ การปรับตัวแสดงให้เห็นการวิวัฒนาการเกิดขึ้น และจะเห็นว่า ขั้นตอนภายในของวิธีการเชิงพันธุกรรมจะเป็นการปรับตัวเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีกว่า ส่วนประกอบของวิธีการเชิงพันธุกรรม ประกอบไปด้วย

1. ประชากร ประกอบไปด้วย กลุ่มของโครโมโซมเป็นตัวแทนของคำตอบที่ระบบจะทำการค้นหา

2. ต้นกำเนิดสายพันธุ์ คือ กลุ่มประชากรที่ถูกคัดเลือกเพื่อเป็นตัวแทนในการให้กำเนิดสายพันธุ์ใหม่ในรุ่นถัดไป

3. สายพันธุ์ใหม่ หรือประชากรลูกหลาน จัดเป็นประชากรกลุ่มใหม่ที่ได้รับถ่ายทอดสายพันธุ์มาจากประชากรพ่อแม่ ซึ่งคาดหวังว่าจะเป็นสายพันธุ์ที่ดีที่สุดเพื่อที่จะถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไป

ขั้นตอนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรมดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างประชากร โดยปกติจะใช้วิธีการสุ่ม

ขั้นตอนที่ 2 ประเมินค่าความเหมาะสมของโครโมโซม

ขั้นตอนที่ 3 คัดเลือกโครโมโซมเพื่อใช้เป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์

ขั้นตอนที่ 4 นำต้นกำเนิดสายพันธุ์สร้างลูกหลานโดยการปฏิบัติทางสายพันธุ์

ขั้นตอนที่ 5 ประเมินค่าความเหมาะสมของลูกหลาน

ขั้นตอนที่ 6 แทนที่ประชากรเดิมด้วยลูกหลาน

ขั้นตอนที่ 7 ทำซ้ำจนได้คำตอบที่เหมาะสม หรือครบตามจำนวนรุ่นที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 8 เก็บคำตอบ

ขั้นตอนที่ 9 จบการทำงาน

จากขั้นตอนการทำงาน สิ่งที่ใช้ในการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรมประกอบไปด้วย

โครโมโซมและการเข้ารหัส

จากที่กล่าวมา พบว่า วิธีการเชิงพันธุกรรมทำการค้นหาคำถามมาจากกลุ่มคำตอบหรือประชากร คำตอบจะแสดงอยู่ในรูปของโครโมโซม การเข้ารหัสจึงเป็นสิ่งสำคัญในการคำนวณ ซึ่งในแต่ละโครโมโซมจะเป็นการนำเอาชุดคำตอบมาเรียงต่อกัน สำหรับในการเข้ารหัส งานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้การเข้ารหัสแบบอักขระเลขฐานสอง เป็นรูปแบบการเข้ารหัสที่เข้าใจง่ายและเป็นที่นิยมใช้ สำหรับขนาดของประชากรจะอยู่ระหว่าง 10 ถึง 100

การคัดเลือกสายพันธุ์

การคัดเลือกสายพันธุ์เป็นขั้นตอนการคัดเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุด โครโมโซมที่ถูกคัดเลือกจะใช้เป็นต้นกำเนิดของสายพันธุ์พ่อแม่ สำหรับสายพันธุ์ในรุ่นถัดไป

วิธีคัดเลือกจะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

1. วิธีการคัดเลือกโดยตรง สำหรับวิธีนี้ใช้ค่าความเหมาะสมของโครโมโซมมาใช้ในการคัดเลือก

2. วิธีใช้ค่าเหมาะสมโดยอ้อม วิธีนี้จะเปลี่ยนค่าความเหมาะสมของโครโมโซมอยู่ในช่วงที่ต้องการแล้วทำการคัดเลือก

งานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้รูปแบบการคัดเลือกโดยตรง โดยใช้ค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมมาใช้ในการคัดเลือก ขั้นตอนในการคัดเลือกจะใช้ค่าโอกาส P แทนความเหมาะสม ผลลัพธ์จากการคัดเลือก คือ จำนวนลูกหลาน การกำหนดโอกาสในการคัดเลือกมีหลายวิธี เช่น การคัดเลือกแบบแบ่งสัดส่วน การคัดเลือกแบบจัดการแข่งขัน และการคัดเลือกแบบจัดอันดับ

งานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้การคัดเลือกแบบจัดอันดับ สำหรับวิธีคัดเลือกแบบจัดอันดับโครโมโซมจะถูกจัดเรียงให้อันดับ r ตามความเหมาะสม โดยค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดจะอยู่ในอันดับ N โดยที่ ค่า N คือ จำนวนของโครโมโซมทั้งหมดและโอกาสที่จะถูกคัดเลือกได้จากสูตร $P(S)=\frac{r}{E}$ เมื่อได้ค่าโอกาส P แล้วนั้น ต่อมา คือ การเลือกตัวอย่างเป็นการแปลงค่าโอกาสเป็นค่าของตัวเลข สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้วิธีการเลือกตัวอย่างแบบวงล้อรูเล็ท มีขั้นตอนการเลือกดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างวงล้อรูเล็ทขึ้นมาโดยกำหนดให้ P_{total} หรือผลรวมของค่าโอกาสในการถูกคัดเลือกของแต่ละโครโมโซม

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่าโอกาส P ของแต่ละโครโมโซมถูกใส่ในวงล้อรูเล็ท

ขั้นตอนที่ 3 ทำการสุ่มเลขระหว่าง 0 ถึงค่า P_{total} หากตัวเลขดังกล่าวมีค่าตรงกับโครโมโซมใดในวงล้อรูเล็ท โครโมโซมนั้นก็จะถูกคัดเลือก โดยที่ความเหมาะสมมากจะมีโอกาสในการถูกคัดเลือกมากที่สุด

การปฏิบัติการทางสายพันธุ์

หลังจากได้ดำเนินการคัดเลือกเสร็จสิ้น ขั้นตอนต่อมา คือ การสร้างโครโมโซมลูกหลาน โครโมโซมที่ถูกคัดเลือกจะถูกแปลงเพื่อกำเนิดสายพันธุ์ใหม่ จะมี 2 วิธี คือ

1. ครอสโอเวอร์ เป็นวิธีการรวมตัวใหม่ของโครโมโซม ซึ่งเป็นการผสมกันของโครโมโซม 2 โครโมโซมขึ้นไป เพื่อที่จะทำให้เกิดโครโมโซมใหม่ ครอสโอเวอร์จะมี 3 แบบ คือ แบบจุดเดียว แบบหลายจุด และแบบสม่ำเสมอ สำหรับในงานวิจัยฉบับนี้ใช้วิธีการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียว

2. มิวเทชั่น เป็นวิธีการแปลงส่วนย่อยในโครโมโซม เหมือนการกลายพันธุ์ในสิ่งมีชีวิต อัตราการมิวเทชั่นจะขึ้นอยู่กับขนาดของประชากร เพื่อที่จะทำให้ค้นหาคำตอบได้อย่างทั่วถึง จากที่กล่าวมาจะเห็นว่า การครอสโอเวอร์ และมิวเทชั่น เป็นการสร้างและเปลี่ยนแปลงของสายพันธุ์ ผลของขั้นตอนนี้จะได้โครโมโซมรุ่นต่อมาจะได้ส่วนดีของของสายพันธุ์ทำให้เกิดประชากรใหม่ที่ดีกว่า

การแทนที่

หลังจากได้โครโมโซมรุ่นถัดมาเรียบร้อย นำเอาโครโมโซมลูกหลานไปแทนที่ประชากรเดิม วัตถุประสงค์ในการแทนที่เพื่อที่จะทำให้ประชากรรุ่นที่ถูกคัดเลือกต่อไปมีความหลากหลายมากขึ้น สำหรับรูปแบบการแทนที่จะมี 2 แบบ

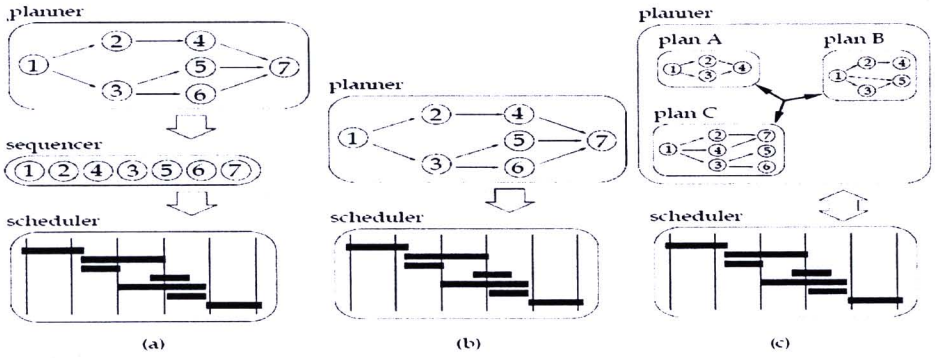
1. การแทนที่ประชากรทั้งรุ่น เป็นการนำเอาประชากรใหม่ไปแทนประชากรเดิมทั้งหมด

2. การแทนที่ประชากรบางส่วน เป็นการนำเอาประชากรใหม่บางส่วนไปแทนประชากรเดิมโดยกำหนดเป็นอัตราการทดแทน

งานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้รูปแบบแทนที่ คือ การแทนที่ประชากรบางส่วน

ปัญหาการจัดงาน

ปัญหาการจัดงานหรือปัญหาการกำหนดลำดับของงาน ที่มีความสัมพันธ์ของงานก่อนหน้า และมีข้อบังคับในเรื่องการใช้ทรัพยากร โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้เวลาปฏิบัติงานของโครงการน้อยที่สุด สำหรับการทำงานของงานในโครงการต้องมีการกำหนดลำดับให้เหมาะสม มีความสัมพันธ์กับงานก่อนหน้า



ภาพ 4 การจัดลำดับงานแบบมีลำดับ

ที่มา. จาก *A Genetic Algorithm for Resource Constrained Scheduling* (p. 19), by M. Wall, 1996, Retrieved February 10, 2009, from http://lancet.mit.edu/~mwall /phd/thesis/thesis.pdf

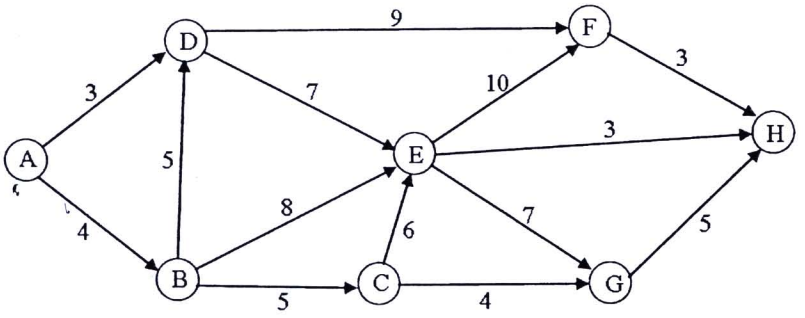
ดังแสดงในภาพ 4 มีการกำหนดหมายเลขให้กับแต่ละงาน ได้รับการวางแผนว่างานใดมีความสัมพันธ์ก่อนหน้ากับงานที่ผ่านมาอย่างไร จากนั้นกำหนดให้ได้รับลำดับให้ทำงาน

รูปแบบของปัญหานี้กำหนดให้ $V = \{0, 1, 2, 3, \ldots, n, n + 1\}$ ซึ่ง V เป็นเซ็ตของงาน จำนวนของงานทั้งหมดมีค่าเท่ากับ n โดยที่ 0 เท่ากับจุดเริ่มต้น $n + 1$ เป็นจุดเสร็จสิ้นของงาน สำหรับข้อกำหนดที่ใช้ในการทำงานจะประกอบไปด้วย K ทรัพยากรที่มีอยู่ โดย K มีจำนวนเท่ากับ i ชนิด ทรัพยากรแต่ละชนิดมีขนาดเท่ากับ rs ส่วน E เป็นเวลาที่แต่ละงานจะต้องทำ $j \in v$ เป็นข้อกำหนดของงานที่มีความเกี่ยวข้องกับงานนี้หรืองานต้องทำต่อไป งานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้ข้อมูลทดสอบ Patterson กับ PSPLIB

เทคนิคการประเมินผลและทบทวนโครงการ

สำหรับโครงการที่มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดแน่นอน และสามารถที่จะกำหนดความสัมพันธ์ของแต่ละงานได้ เครื่องมือที่นิยมมาใช้ในการทำงาน คือ การประเมินผลหรือเพิร์ต (Project Evaluation and Review Technique--PERT) และระเบียบวิธีเส้นทาง-วิกฤติ หรือ ซีพีเอ็ม (Critical Path Method--CPM) สำหรับเพิร์ตถูกพัฒนาโดย

กองทัพเรือสหรัฐร่วมกับ บุซ แอลเลน และแฮมิวตัน ใช้ในโครงการผลิตขีปนาวุธ ซึ่งเป็นโครงการขนาดใหญ่มีผู้ดำเนินการหลายราย ส่วนซีพีเอ็มถูกพัฒนาโดย เจ อี เคลลี กับ เอ็ม อาร์ วอล์กเกอร์ ใช้ในโครงการก่อสร้างและซ่อมบำรุงเครื่องจักร การคำนวณในเพิร์ตและซีพีเอ็มจะต้องมีการสร้างขอบข่ายงานหรือแผนภูมิที่ต้องทำในโครงการ



ภาพ 5 ตัวอย่างขอบข่ายงานของเพิร์ต

ที่มา. จาก *Practical Optimization: A Gentle Introduction* (p. 2), by J. Chinneck, 2009, Retrieved September 5, 2010, from http://www.sce.carleton.ca/faculty/chinneck/po/Chapter11.pdf

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณเพื่อกำหนดงานประกอบไปด้วย

1. *ES* มาจาก Earliest Start Time หมายถึง เวลาที่เร็วที่สุดที่จะเริ่มต้นงานนั้น ๆ
2. *LF* มาจาก Latest Start Time หมายถึง เวลาที่ช้าที่สุดที่จะเริ่มต้นงานนั้น ๆ
3. *EF* มาจาก Earliest Finish Time หมายถึง เวลาที่เสร็จสิ้นอย่างเร็วที่สุดของแต่ละงาน
4. *LF* มาจาก Latest Finish Time หมายถึง เวลาที่เสร็จสิ้นอย่างช้าที่สุดของแต่ละงาน
5. *TS* มาจาก Total Slack Time หมายถึง ระยะเวลาที่โครงการล่าช้าได้โดยไม่กระทบต่อเวลาของโครงการ
6. *FS* มาจาก Free Slack Time หมายถึง ระยะเวลาที่งานล่าช้าได้โดยไม่กระทบต่องานในลำดับถัดไป
7. *t* มาจาก Time หมายถึง เวลาที่ใช้ของแต่ละงาน

วิธีการคำนวณหาเวลาเริ่มต้นเร็วที่สุด (*ES*) และเวลาเสร็จสิ้นเร็วที่สุด (*EF*) หาได้จาก สูตร $EF = ES + t$

ตาราง 1

ตัวอย่างตารางการทำงานและข้อกำหนด

งาน	งานที่ต้องเสร็จก่อน	เวลา
A	-	3
B	A	2
C	B	1
D	B,C	2
E	D	1
F	D	1
G	E,F	4
H	G	1
I	H	1

จากตาราง 1 ค่า *ES* ของงาน A เท่ากับ 0 เนื่องจากสามารถเริ่มงานได้ทันที ส่วนค่า *EF* เท่ากับ 0 บวก 3 ผลลัพธ์เท่ากับ 3 ส่วนงาน B จะเริ่มได้ก็ต่อเมื่อ งาน A จะทำเสร็จก่อน เพราะฉะนั้นค่า *ES* ของงาน B จะมีค่าเท่ากับ *EF* ของงาน A จากตาราง 1 จะมีค่าเท่ากับ 3 ส่วนค่า *EF* ของงาน B จะมีค่าเท่ากับ 3 บวก 2 ผลลัพธ์เท่ากับ 5 หรือสามารถคิดได้จากสูตร $ES = \max(EFi)$ โดยที่ $EFi = EF$ งานที่ต้องทำก่อนหน้า

การคำนวณหาเวลาเริ่มต้นช้าที่สุด (*LS*) และเวลาที่เสร็จสิ้นช้าที่สุด (*LF*) หามาจาก $LS = LF - t$ จากตาราง 1 งาน I เป็นงานสุดท้ายดังนั้นค่า *LF* ของงาน I เท่ากับ 15 ซึ่งค่า 15 นี้จะเป็นค่า *EF* ของงาน I ด้วย ส่วนค่า *LS* ของงาน I จะมีค่าเท่ากับ 15 ลบ 1 ผลลัพธ์คือ 14 หรือหาได้จาก $LF = \min(LSi)$ โดยที่ $LSi = LS$ ของงานที่ตามมา

การคำนวณเวลาที่เหลืออยู่ *TS* หาได้จาก $TS = LS - ES$ หรือ $TS = LF - EF$ ในงานวิจัยฉบับนี้ได้นำเอาค่า *ES* และ *EF* มาใช้งานขั้นตอนทำงานกับชุดทดสอบ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การแก้ปัญหาการจัดงานหรือจัดตารางงานของธุรกิจต่าง ๆ โดยส่วนใหญ่จะมุ่งไปที่การลดระยะเวลาการทำงานให้สั้นลง รวมทั้งการใช้งานทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด การแก้ปัญหาการจัดงานโดยส่วนมากจะเป็นงานที่มีทรัพยากรจำกัด หรือต้องทำงานสอดประสานกับงานหลายส่วน และจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำอัลกอริทึมหลาย ๆ อย่างมาใช้และรวมทั้งได้ปรับปรุงเพิ่มเติม มีวัตถุประสงค์หลัก คือ ทำให้ระยะเวลาการทำงานน้อยที่สุด ผู้วิจัยได้ทำการศึกษารวบรวมและสรุปงานในส่วนที่มีความเกี่ยวข้องและใกล้เคียงกับงานวิจัยฉบับนี้ ดังต่อไป

สุรินทร์ วิชชุวงศ์ และมานะ เชาวรัตน์ (2552) ได้ศึกษาเรื่อง*การจัดตารางการทำงานของพนักงานแผนกผลิตชิ้นส่วนโลหะแผ่นของอุตสาหกรรมผลิตเครื่องปรับอากาศ* ในการศึกษาได้ พบว่า ธุรกิจอุตสาหกรรมผลิตเครื่องปรับอากาศมีการแข่งขันสูง และมีการผลิตขึ้นอยู่กับฤดูกาล มีปัญหาการจัดการตารางงานของพนักงาน ทำให้จัดการทำงานยาก และต้องสอดคล้องกับอุปสงค์ที่ไม่แน่นอน รวมทั้งภาคส่วนแรงงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตมีอยู่หลายประเภททั้ง แรงงานประจำ หรือแรงงานเหมาช่วง พบปัญหาลางานหรือลากิจ การศึกษานี้ได้ศึกษาในเรื่องต้นทุนต่าง ๆ ทั้งต้นทุนคงที่ ต้นทุนผันแปร ทั้งในรูปแบบต้นทุนคงที่ เช่น เงินเดือน หรือต้นทุนผันแปร เช่น ค่าฝึกอบรบต่าง ๆ เป็นต้น โดยแยกรูปแบบตารางการทำงานเป็น 3 รูปแบบ และนำไปปฏิบัติจริง พบว่า สามารถทำให้ธุรกิจผลิตเครื่องปรับอากาศนี้สามารถจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าได้ทันตามกำหนด และสามารถลดการลาออกของพนักงานลงได้

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องการงานวิจัยฉบับนี้ คือ เป็นรูปแบบธุรกิจอย่างหนึ่งที่ประสบปัญหาเหมือนกับธุรกิจการศึกษาชีวสมมูลในเรื่องการจัดการทำงาน ทำให้ต้องปรับปรุงการจัดการทำงานให้มีประสิทธิภาพ

นราธิป แสงซ้าย และจีรศักดิ์ ซ้ายสุวรรณ (2549) ได้ศึกษาเรื่อง*การจัดวางผังเครื่องจักรแบบหลายแถวอย่างเหมาะสมโดยวิธีการผสมผสานด้วยการจำลองสถานการณ์และวิธีประมาณการโดยการสุ่มหาคำตอบ* พบว่า ปัญหาที่สำคัญของการผลิตที่จะมีการตอบสนองต่อผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลาย และรวมทั้ง

การเปลี่ยนแปลงความต้องการของผู้บริโภคตลอดเวลา ในงานศึกษานี้ได้ศึกษาเรื่อง การจัดวางผังเครื่องจักร เรื่องของการขนย้ายที่ให้เกิดค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด เวลาที่รอคอย ในระบบงานน้อยที่สุด และสัดส่วนการใช้เครื่องจักร โดยได้นำเอาวิธีการเชิงพันธุกรรม มาใช้ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ในการหาคำตอบ งานวิจัยนี้ผู้ศึกษาได้ พบว่า การใช้ วิธีการเชิงพันธุกรรมร่วมกับการจำลองสถานการณ์ในกาหาคำตอบของการจัดวางผัง เครื่องจักรมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมโดยปกติ

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้ คือ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องของการใช้ เครื่องมือหรือเครื่องจักรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดรวมทั้งมีการใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม มาใช้ในเปรี่ยบเทียบผลของคำตอบ

เกียรติขจร วรปรัชญา และทวีภัทร์ บูรณธิติ (2550) ได้ศึกษาเรื่อง*การหาความเหมาะสมในการจัดตารางการผลิตสำหรับกระบวนการหล่อเหล็กแผ่นแบบต่อเนื่องสองสายการผลิต* พบว่า อุตสาหกรรมผลิตเหล็กเป็นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าสูง และ มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่มีการป้อนวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมอื่น ๆ อุตสาหกรรมผลิตได้มีทิศทางในการผลิตที่มีผลิตภัณฑ์หลากหลาย และมีผู้ผลิตมากราย ทำให้มีการแข่งขันสูง รูปแบบการผลิตมีความซับซ้อน และเป็นกระบวนการต่อเนื่อง การจัดตารางการทำงานมีความยุ่งยากมาก ผู้ศึกษาได้ศึกษาในเรื่องการจัดลำดับงานและ การใช้ทรัพยากรเพื่อที่จะได้ตารางการผลิตให้เหมาะสมโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม มาใช้ในการหาคำตอบ โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่อิงกับกระบวนการผลิต ในการศึกษาผู้ศึกษา พบว่า สามารถค้นหาและจัดตารางการผลิตได้อย่างอัตโนมัติ

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้ คือ ธุรกิจมีความซับซ้อน และมีขั้นตอน การทำงานเกี่ยวเนื่องเหมือนกัน ทำให้รูปแบบการจัดตารางการทำงานมีความยุ่งยาก รวมทั้งได้นำเอาวิธีการเชิงพันธุกรรมมาใช้หาคำตอบ ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้นำเอาวิธีการ-เชิงพันธุกรรมมาใช้ในการเปรียบเทียบผลคำตอบ

Sharafi, Jolai, Iranmanesh, and Hatefi (2008) ได้ศึกษาเรื่อง *A Model for Project Scheduling with Fuzzy Precedence Links* ผู้ศึกษาพบว่า ปัญหาการจัดงานมีความยุ่งยาก ซับซ้อน ผู้ศึกษาได้นำเอาเพิร์ตและซีพีเอ็มมาใช้แก้ปัญหาในขั้นตอนการคัดเลือกงาน เบื้องต้น ก่อนที่จะให้ฟัซซี่ลอจิกในการค้นหาคำตอบ

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้ คือ การนำเอาอัลกอริทึมการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคแบบมีรัศมีที่เหมาะสมที่สุดไปใช้ทดสอบกับชุดทดสอบได้มีการนำเอาเพิร์ตและซีพีเอ็มมาใช้ในการประเมินคำตอบ

Shouman, Ibrahim, Khater, and Forgani (2006) ได้ศึกษาเรื่อง *Genetic Algorithm Contraint Project Scheduling* เป็นการแก้ปัญหาการจัดงานที่มีข้อจำกัดทางด้านทรัพยากรโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมมาใช้ในการหาคำตอบ พบว่า วิธีแก้ปัญหาการจัดงานโดยมีข้อจำกัดทางด้านทรัพยากร ผู้ศึกษากำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการค้นหาคำตอบให้ระยะเวลาในการทำงานที่สั้นที่สุด และได้นำเพิร์ตและซีพีเอ็มมาใช้ในขั้นตอนของการประเมินคำตอบ อัตราครอสโอเวอร์ 0.5 อัตรามิวเทชั่น 0.03 พบว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมคำตอบได้ดีกว่าวิธีฮิวริสติก 70%

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้ คือ ในขั้นตอนของการทดสอบอัลกอริทึมการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคแบบมีรัศมีที่เหมาะสมที่สุดกับชุดข้อมูลทดสอบที่มีลักษณะเดียวกันคือมีข้อจำกัดทางด้านทรัพยากรและข้อกำหนดในการทำงาน และในการทดสอบใช้ผลคำตอบวิธีการเชิงพันธุกรรมมาเปรียบเทียบเหมือนกัน

Helwig, Neumann, and Wanka (2009) ได้ศึกษาเรื่อง *Particle Swarm Optimization with Velocity Adaptation* ซึ่งเป็นการปรับแต่งการทำงานของอัลกอริทึมการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคอย่างเหมาะสมที่สุด พบว่า ผู้ศึกษาได้มีการปรับค่าความเร่งในขั้นตอนของการปรับค่าความเร่ง ผู้ศึกษาได้กำหนดขอบเขตของการค้นหาโดยใช้ค่าเป็น 0 กับ 1 กำหนดความเร่งให้มีขนาดที่จำกัด ในขั้นตอนของการหาความเร่งต้องนำค่าความเร่งที่คำนวณได้มาตรวจสอบกับขนาดที่ระบุไว้ หากความเร่งอยู่ในขอบเขตที่กำหนดค่อยทำการปรับค่าตำแหน่งใหม่ ถ้าความเร่งที่ได้ไม่อยู่ในขอบเขตทำการหาความเร่งใหม่ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลของการหาคำตอบในขอบเขตที่จำกัด พบว่า ในบางปัญหาสามารถที่จะหาคำตอบได้ดีกว่าวิธีการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เหมาะสมแบบเดิม

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้ คือ การมุ่งในการปรับปรุงอัลกอริทึมการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เหมาะสมที่สุดเพื่อที่จะได้ค้นหาคำตอบได้อย่างเหมาะสม