บทที่ 3
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้นำเสนองานวิจัยที่มีประเด็นที่น่าสนใจ และมีความเกี่ยวข้องกับการประมวลผลแบบขนานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและกำหนดการเชิงพันธุกรรม โดยเน้นงานวิจัยที่ใช้การประมวลผลแบบขนานแบบหน่วยหยาบ การนำเสนอแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การประมวลผลแบบขนานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และการประมวลผลแบบขนานของกำหนดการเชิงพันธุกรรม

3.1 การประมวลผลแบบขนานกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

ในปี พ.ศ. 2541 บทความ [10] ของ Erick Cantú-Paz ได้ทำการรวมรวมงานวิจัยที่สำคัญ และจัดแบ่งลักษณะการทำงานแบบขนานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม พร้อมทั้งอธิบายและเปรียบเทียบลักษณะการทำงานแบบขนานแบบต่างๆ ในบทความนี้ได้ทำการแบ่งการประมวลผลแบบขนานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็น 3 แบบ คือ แบบหัวหน้า-ผู้ช่วย, แบบหน่วยหยาบ และแบบหน่วยละเอียด นอกจากการทำงานแบบขนาน 3 ประเภทนี้แล้ว ในบทความนี้ได้เสนอประเภทของการทำงานแบบขนานเพิ่มเติมอีก 1 แบบ คือ แบบเชิงลำดับขั้น (hierarchical model) ซึ่งเป็นการนำการทำงานแบบขนานที่มีอยู่แล้ว มารวมกันในลักษณะที่เป็นลำดับขั้น

ในการนำเสนอจะเน้นการทำงานแบบหน่วยหยาบ เนื่องมาการทำงานแบบหน่วยหยาบกำลังอยู่ในความสนใจของนักวิจัยในด้านนี้ ผู้เขียนยังแสดงความคิดจากการพิจารณางานวิจัยที่ศึกษาการทำงานแบบหน่วยหยาบแสดงให้เห็นว่า การทำงานแบบหน่วยหยาบมีความซับซ้อนมาก โดยลักษณะการทำงานถูกควบคุมด้วยพารามิเตอร์หลายตัว ทำให้ยังมีอีกหลายประเด็นที่ยังไม่สามารถหาคำตอบได้ หนทางเดียวในการทำความเข้าใจในการการทำงานคือ ต้องทำการศึกษาไปทีละด้าน โดยจะเห็นได้จากในงานวิจัยที่สำคัญๆ จะทำการศึกษาไปทีละด้าน โดยละเลยส่วนอื่นไว้ก่อน

ในปี พ.ศ. 2537 งานวิจัย [17] ของ Shyh-Chang Lin, Erik D. Goodman และ William F. Punch เสนอการแก้ปัญหาการลู่เข้าก่อนเวลาอันควร (premature convergence) ของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมโดยใช้การประมวลผลแบบขนาน และเสนอการเปรียบเทียบผลการทดลองการประมวลผลแบบขนานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยใช้การประมวลผลแบบขนานแบบหน่วยหยาบในหลายๆ รูปแบบ รวมไปถึงลักษณะการอพยพและการเชื่อมต่อในแบบต่างๆ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้เสนอการประมวลผลแบบขนานแบบใหม่คือ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบ อินเจคชั่นไอแลนด์ (Injection Island GA)

ปัญหาที่ใช้ในการทดลองเป็นปัญหา graph partition ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพสำหรับการแก้ปัญหาการลู่เข้าก่อนเวลาอันควรระหว่างการประมวลผลแบบเชิงลำดับและแบบขนาน การประมวลผลแบบเชิงลำดับเมื่อใช้วิธีการแก้ปัญหาการลู่เข้าก่อนเวลาอันควรในแบบต่างๆ ที่มีการเสนอในงานวิจัยก่อนๆ การประมวลผลแบบเชิงลำดับก็ยังไม่สามารถหาคำตอบได้ในเวลาที่กำหนด แต่สำหรับการประมวลผลแบบขนานโดยใช้การทำงานแบบหน่วยหยาบ กลุ่มประชากรย่อยทั้ง 25 กลุ่มสามารถหาคำตอบได้ทั้งหมด

ในการวัดประสิทธิภาพของเวลาจนกระทั่งได้คำตอบ ค่าสปีดอัพที่ได้มีค่ามากกว่าจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ โดยผู้วิจัยได้ให้เหตุผลว่าเกิดจากขนาดของงานรวมในแต่ละจำนวนหน่วยประมวลผลของการทำงาน

แบบขนานมีค่าไม่เท่ากับงานของการทำงานแบบเชิงลำดับ

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การประมวลผลแบบขนานให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการประมวลผลแบบเชิงลำดับสำหรับปัญหา graph partition
2. สำหรับการทำงานแบบหน่วยหยาบ การใช้หน่วยประมวลผลจำนวนมาก และมีการอพยพแบบไม่ประสานเวลา ให้ประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงมาก
3. การแลกเปลี่ยนประชากรระหว่างกลุ่มประชากร โดยดูจากความเหมือนของประชากรแทนที่จะเป็นการแลกเปลี่ยนที่กำหนดแน่นอน จะให้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้น โดยความเร็วในการทำงานไม่ได้ลดลง
4. ในงานวิจัยได้เสนอการทำงานแบบใหม่คือ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบอินเจคชั่นไอแลนด์ ผลการทดลองเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าวิธีการใหม่นี้ให้ประสิทธิภาพการทำงานที่ดี

งานวิจัย [18] ของ Theodore C. Belding ในปี พ.ศ. 2538 เป็นการศึกษาเพิ่มเติมจากงาน [19] โดยสนใจประเด็นที่ว่าถ้าเปลี่ยนปัญหาให้ต่างจากที่ใช้ในงาน [19] และปัญหาใหม่นี้สามารถทำงานได้ดีกับการประมวลผลแบบเชิงลำดับ การทำงานแบบขนานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะยังคงให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการทำงานแบบเชิงลำดับหรือไม่

อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองในงานวิจัยชิ้นนี้ได้รับการโต้แย้งจากงานวิจัยชิ้นอื่น เช่น [14, 20] เนื่องมาจากการรายงานผลของคุณภาพคำตอบแยกจากการรายงานผลของประสิทธิภาพการทำงานแบบขนาน และมีบางผลการทดลองที่ค่าสปีดอัพของการทำงานมากกว่าจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ ซึ่งในผลการทดลองส่วนนี้จะไม่มีการรายงานคุณภาพของคำตอบ ทำให้การเปรียบเทียบเช่นนี้ไม่สมบูรณ์เพราะคุณภาพของคำตอบจากการทำงานแบบขนานอาจจะแย่กว่าคุณภาพของคำตอบจากการทำงานแบบเชิงลำดับ

ในปี พ.ศ. 2539 งานวิจัย [21] ของ William E. Hart, Scott Baden, Richard K. Belew และ Scott Kohn เสนอการศึกษาผลของการลดการประสานเวลาในการประมวลผลแบบขนานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมที่มีต่อค่าประสิทธิภาพในเชิงตัวเลข และประสิทธิภาพการประมวลผลแบบขนาน ประสิทธิภาพในเชิงตัวเลขเป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยวัดจากจำนวนครั้งของฟังก์ชันที่ถูกเรียกใช้จนได้คำตอบ ประสิทธิภาพการประมวลผลแบบขนานเป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับการทำให้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมทำงานแบบขนาน โดยวัดจากเวลาที่ใช้ในการประมวลผลแบบขนานและเวลาในการสื่อสาร ในการทดลองการทำงานของการประมวลผลแบบขนานเป็นแบบหน่วยหยาบ โดยมีการเชื่อมต่อกันแบบตาราง 2 มิติ การสื่อสารจะกระทำกับหน่วยประมวลผลข้างเคียงเพื่อทำการเลือกและการเปลี่ยนไขว้กับประชากรใกล้เคียง นอกจากนี้ยังใช้ในการรับส่งสัญญาณในการหยุดทำงาน

การทดลองไม่ได้ใช้ค่าสปีดอัพในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของขั้นตอนวิธีแต่ละแบบ เนื่องมาจากผู้เขียนได้ให้ความเห็นว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีการทำงานแบบสุ่ม ทำให้แต่ละครั้งของการทำงานแบบเชิงลำดับและแบบขนานมีการทำงานที่แตกต่างกัน ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบและคิดเป็นค่าสปีดอัพได้ ดังนั้นจึงเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานแบบขนานแต่ละแบบด้วยเวลาที่ใช้ในการทำงาน

ลักษณะของการอพยพที่ใช้ในการทดลองมีสองแบบคือ แบบประสานเวลาและแบบไม่ประสานเวลา ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเวลาที่ใช้ในการประมวลผล และเวลาในการสื่อสารของการทำงานแบบไม่ประสานเวลามีค่าน้อยกว่าการทำงานแบบประสานเวลา ดังนั้นในด้านประสิทธิภาพการประมวลผลแบบขนาน การ

ทำงานแบบไม่ประสานเวลาให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการทำงานแบบประสานเวลา นอกจากนี้ประสิทธิภาพในเชิงตัวเลขของการทำงานแบบไม่ประสานเวลายังสูงกว่าการทำงานแบบประสานเวลา โดยเมื่อพิจารณาจากจำนวนฟังก์ชันที่ใช้ในการหาคำตอบ การทำงานแบบไม่ประสานเวลาใช้จำนวนฟังก์ชันน้อยกว่าการทำงานแบบประสานเวลา

เพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่การทำงานแบบไม่ประสานเวลาใช้จำนวนฟังก์ชันน้อยกว่า ผู้วิจัยได้ตั้งสมมุติฐานว่าการอพยพแบบไม่ประสานเวลาทำให้แต่ละหน่วยประมวลผลไม่ต้องมีการหยุดรอ และมีเวลาเพิ่มขึ้นในการค้นหาคำตอบด้วยกลุ่มประชากรของตนเอง จนกว่าจะได้รับประชากรจากหน่วยประมวลผลอื่นจนครบ และประชากรที่ได้จากการอพยพจะมีผลต่อการค้นหาคำตอบในหน่วยประมวลผลนั้น เพื่อทดสอบสมมุติฐานผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้การประมวลผลแบบขนานแบบประสานเวลา และลดความถี่ของการอพยพลง พบว่าเมื่อลดความถี่การอพยพลงจำนวนฟังก์ชันที่ใช้ในการหาคำตอบก็มีการลดลง ซึ่งผลการทดลองนี้สนับสนุนสมมุติฐานที่ตั้งไว้

ในปี พ.ศ. 2537 งานวิจัย [22] ของ Arthur L. Corcoran และ Roger L. Wainwright เสนอการประมวลผลแบบขนานแบบหน่วยหยาบของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อแก้ปัญหา multiprocessor scheduling การทดลองการประมวลผลแบบขนานใช้ตัวจำลอง Intel iPSC/2 ทำงานบนเครื่อง SUN SPARCstation 10 ลักษณะการทำงานแบบขนานมีสองแบบคือ แบบคงที่และแบบขยาย แบบคงที่จะให้จำนวนประชากรรวมทุกหน่วยประมวลผลคงที่ และเท่ากับที่ใช้ในการทำงานแบบเชิงลำดับ ดังนั้นเมื่อเพิ่มจำนวนหน่วยประมวลผล ขนาดประชากรในแต่ละหน่วยประมวลผลจะเล็กลง ในทางตรงกันข้าม จำนวนประชากรในแต่ละหน่วยประมวลผลของการทำงานแบบขยายจะมีค่าคงที่ และมีค่าเท่ากับการทำงานแบบเชิงลำดับ ดังนั้นเมื่อเพิ่มจำนวนหน่วยประมวลผล ขนาดประชากรรวมทุกหน่วยประมวลผลจะมีค่าเพิ่มขึ้น

ในการทดลองลักษณะการทำงานแบบขนานแต่ละแบบมีการทดลองทั้งที่มีการอพยพ และไม่มีการอพยพ ดังนั้นการทดลองมีทั้งหมด 4 ชุดดังนี้

1. **แบบคงที่และไม่มีการอพยพ** เมื่อมีการเพิ่มจำนวนหน่วยประมวลผลเวลาที่ใช้ในการทำงานมีการลดลง เนื่องจากจำนวนประชากรในแต่ละหน่วยประมวลผลมีจำนวนลดลง แต่คุณภาพของคำตอบที่ได้ก็มีการลดลงเช่นกันเมื่อเพิ่มจำนวนหน่วยประมวลผล

2. **แบบคงที่และมีการอพยพ** เวลาในการทำงานมีการลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนหน่วยประมวลผลเช่นเดียวกับแบบคงที่และไม่มีการอพยพ แต่คุณภาพของคำตอบที่ได้ไม่มีการลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนหน่วยประมวลผล ยกเว้นปัญหาที่มีขนาดใหญ่ที่สุดที่ใช้ในการทดสอบ คุณภาพของคำตอบที่ได้จากการประมวลแบบขนานมีการลดลง โดยผู้วิจัยได้ให้ความเห็นว่าเมื่อเพิ่มจำนวนหน่วยประมวลผล ขนาดประชากรต่อหน่วยประมวลผลมีขนาดที่เล็กเกินไป ไม่เพียงพอต่อขนาดของปัญหา

3. **แบบขยายและไม่มีการอพยพ** เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบสูงกว่าแบบคงที่ และคุณภาพของคำตอบที่ได้มีค่าเท่ากับคุณภาพของคำตอบที่ดีที่สุดจากการประมวลผลแบบเชิงลำดับ นอกจากนี้ในบางครั้งการเพิ่มจำนวนหน่วยประมวลผลทำให้เวลาในการหาคำตอบมีค่าลดลง

4. **แบบขยายและมีการอพยพ** เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบมีการลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับแบบขยายและไม่มีการอพยพ และคำตอบที่ได้มีคุณภาพเท่ากับคำตอบจากการประมวลผลแบบเชิงลำดับ นอก

พอสมควร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากนี้ในปัญหาที่มีขนาดใหญ่ที่สุดที่ใช้ในการทดสอบ คำตอบที่ได้มีคุณภาพดีกว่าคำตอบที่ได้จากการประมวลผลแบบขนานทุกแบบ รวมทั้งคำตอบที่ได้จากการประมวลผลแบบเชิงลำดับ

งานวิจัย [23] ของ Maurizio Rebaudengo และ Matteo Sonza Reorda ในปี พ.ศ. 2536 นำเสนอผลการทดลองซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการอพยพกับประสิทธิภาพในการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบขนาน โดยการวิจัยใช้ปัญหา traveling salesman โปรแกรมที่ใช้ในการทดลองการประมวลผลแบบขนานทำงานบนเครื่อง nCUBE2

ผู้วิจัยได้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อดีและข้อเสียของการอพยพ โดยข้อดีของการอพยพคือ การอพยพช่วยให้ประชากรที่ดีที่สุดที่เกิดในกลุ่มประชากรย่อยได้ติดต่อกับประชากรกลุ่มอื่น และการอพยพช่วยให้ได้วัตถุดิบใหม่สำหรับการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม สำหรับข้อเสียของการอพยพคือ การอพยพอาจจะทำให้การค้นหาของแต่ละหน่วยประมวลมีการซ้อนทับกันได้ ทำให้การค้นหาบางส่วนเหมือนกัน

การประเมินประสิทธิภาพการประมวลผลแบบขนานใช้ค่าเปอร์เซ็นต์จำนวนครั้งที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด และค่าความแตกต่างระหว่างค่าความเหมาะสมเฉลี่ยกับคำตอบที่ดีที่สุด ผลการทดลองแบ่งเป็นสองชุดคือ การทดลองเกี่ยวกับความถี่การอพยพ และการทดลองเกี่ยวกับขนาดของประชากรระหว่างการอพยพ การทดลองชุดแรกแสดงให้เห็นว่าเมื่อลดความถี่การอพยพ ประสิทธิภาพการประมวลผลแบบขนานเพิ่มสูงขึ้น การทดลองชุดที่สองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการประมวลผลแบบขนานเพิ่มสูงขึ้น เมื่อขนาดของประชากรระหว่างการอพยพลดลง

3.2 การประมวลผลแบบขนานกับกำหนดการเชิงพันธุกรรม

ในปี พ.ศ. 2538 งานวิจัย [24] ของ David Andre และ John R. Koza เป็นงานวิจัยแรกที่เสนอการทดลองการใช้การประมวลผลแบบขนานกับกำหนดการเชิงพันธุกรรม การทดลองใช้หน่วยประมวลผลที่เรียกว่า ทรานส์พิวเตอร์ (transputer) โดยมีการเชื่อมต่อกันด้วยระบบเครือข่าย ซึ่งทรานส์พิวเตอร์แต่ละตัวจะประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผล หน่วยความจำ และช่องทางสื่อสาร บรรจุอยู่ในอุปกรณ์ชิ้นเดียวกัน เครือข่ายของทรานส์พิวเตอร์จะเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นแม่ข่าย

ปัญหาที่ใช้ในการทดลองเป็นปัญหาฟังก์ชัน Boolean even-5-parity การวัดประสิทธิภาพการทำงานใช้การเปรียบเทียบ ค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณ (computational effort) ที่ระดับของการอพยพต่างๆ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณมีค่าน้อยที่สุดเมื่อใช้การอพยพเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ และค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณของการประมวลผลแบบขนานเมื่อใช้จำนวนประชากรในการอพยพอยู่ในช่วง 1 เปอร์เซ็นต์ถึง 8 เปอร์เซ็นต์น้อยกว่าของขั้นตอนวิธีเชิงลำดับ แสดงให้เห็นว่าการประมวลผลแบบขนานทำงานในปริมาณที่น้อยกว่าการประมวลผลแบบเชิงลำดับเพื่อให้ได้คำตอบที่เหมือนกัน นอกจากนี้ในงานวิจัยชิ้นนี้ยังได้สรุปเพิ่มเติมว่าค่าสปีดอัพของการทำงานที่ได้มากกว่าจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้

ในปี พ.ศ. 2541 งานวิจัย [15] ของ William F. Punch นำเสนอผลของการทดลองการประมวลผลแบบขนานกับปัญหาทั้งหมด 2 ปัญหาคือ ant path และ royal tree ประเด็นที่น่าสนใจของงานวิจัยนี้คือ การประมวลผลแบบขนานมีประสิทธิภาพที่ด้อยกว่าการประมวลผลแบบเชิงลำดับ ผู้ทำวิจัยพยายามหาสาเหตุของประสิทธิภาพที่ด้อยกว่า โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการทดลองในงานวิจัยนี้กับ

การทดลองในงานวิจัย [25] พบว่าสาเหตุน่าจะมาจากลักษณะที่ประสิทธิภาพของการประมวลผลแบบขนานของกระบวนการเชิงพันธุกรรมขึ้นกับปัญหาที่ใช้ ผู้ทำการวิจัยได้ตั้งสมมุติฐานขึ้นมาสองประเด็นคือ

1. ปัญหาที่มีหลายคำตอบน่าจะเหมาะกับการประมวลผลแบบขนานมากกว่าปัญหาที่มีเพียงคำตอบเดียว
2. ปัญหาที่ไม่มีการหลอก (non-deceptive problem) น่าจะเหมาะกับการประมวลผลแบบขนานมากกว่าปัญหาที่มีการหลอก (deceptive problem)

ผู้ทำการวิจัยได้ออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบสมมุติฐาน ผลการทดลองที่ได้สนับสนุนสมมุติฐานที่ตั้งไว้ทั้งสองข้อ

ในปี พ.ศ. 2539 งานวิจัย [26] ของ Dimitris C. Dracopoulos และ Simon Kent เสนอผลการทดลองการประมวลผลแบบขนานของกำหนดการเชิงพันธุกรรม โดยใช้ปัญหา Artificial Ant ในการทดลอง การพัฒนาโปรแกรมใช้การทำงานแบบ Bulk Synchronous Parallel Programming (BSP) ทดลองบนเครื่องคอมพิวเตอร์ SUN SPARCstation 5 ที่เชื่อมต่อกันด้วยระบบเครือข่าย

การทดลองทำการเปรียบเทียบระหว่างการประมวลผลแบบขนานสองแบบ คือ แบบหัวหน้า-ผู้ช่วย และแบบหน่วยหยาบ ก่อนเสนอผลการทดลองผู้วิจัยได้แสดงค่าสปีดอัพที่คาดว่าจะได้รับ โดยใช้การคำนวณจากการเขียนโปรแกรมแบบ BSP หลังจากทำการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าสปีดอัพของการประมวลผลแบบหน่วยหยาบดีกว่าแบบหัวหน้า-ผู้ช่วย เนื่องจากเวลาในการสื่อสารของการประมวลผลแบบหน่วยหยาบมีค่าน้อยกว่า

ในปี พ.ศ. 2541 งานวิจัย [27] ของ Fuey Sian Chong เสนอการทดลองการประมวลผลแบบขนานของกำหนดการเชิงพันธุกรรมบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Internet) โปรแกรมที่ใช้ในการทดลองพัฒนาโดยใช้ภาษาจาวา (Java) เขียนในลักษณะของแอปเพล็ต (applet) ทำงานอยู่ในโปรแกรมค้นผ่านเว็บ (web browser) ที่สนับสนุนภาษาจาวา การทำงานแบบขนานใช้ลักษณะแบบหน่วยหยาบ การสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผลกระทำผ่านเครื่องบริการ

เนื่องจากเครื่องที่เข้าร่วมการประมวลผลแบบขนานอาจมีความเร็วในการทำงานที่แตกต่างกัน และการเข้าร่วมและออกจากการประมวลผลแบบขนานเป็นไปอย่างไม่แน่นอน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบให้แต่ละหน่วยประมวลผลทำการส่งประชากรในการอพยพไปเก็บไว้ที่เครื่องบริการ และหน่วยประมวลผลที่ทำการรับประชากรในการอพยพจะรับประชากรจากกลุ่มประชากรที่อยู่ในเครื่องบริการ

ในงานวิจัย มีการทดลองการทำงานของระบบที่สร้างขึ้นในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยให้ผู้ใช้อินเทอร์เน็ตจากทั่วโลกเข้าร่วมการทดลอง นอกจากนี้ยังมีการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานเมื่อเทียบกับการประมวลผลแบบเชิงลำดับ และการประมวลผลแบบขนานในแบบอื่น การเปรียบเทียบผลการทดลองใช้ค่าความน่าจะเป็นในการพบคำตอบสำหรับแต่ละรุ่นของการทำงาน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการประมวลผลแบบอื่นๆ และเป็นที่น่าสังเกตว่าความน่าจะเป็นในการพบคำตอบมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากการอพยพครั้งแรก