สารบัญ

หน้า

สารบัญ (1)

สารบัญตาราง (3)

สารบัญภาพ (4)

คำนำ 1

วัตถุประสงค์ 2

ผลการวิจัย 2

ขอบเขตของการวิจัย 2

การตรวจเอกสาร 3

อัลกอริทึมแบบอาณาจักรมด 3

ปัญหาคนเดินทางขายของ 5

อัลกอริทึม Ant System 6

อัลกอริทึม AntNet 9

การพิสูจน์การลู่เข้าสู่คำตอบอัลกอริทึมแบบอาณาจักรมด 10

การลู่เข้าแบบให้ได้มาซึ่งค่า 10

การลู่เข้าแบบให้ได้มาซึ่งผลลัพธ์ 11

การวิเคราะห์การทำงานของอัลกอริทึมอาณาจักรมดในปัญหา *One-Max* ที่ใช้มดตัวเดียว 12

ผลงานวิจัยของ Neumann และ Witt 13

การหาเส้นทางที่สั้นที่สุด 13

อัลกอริทึมของ Dijkstra 14

อัลกอริทึมของ Bellman-Ford-Moore 15

ผลการวิจัย 16

การวิเคราะห์เวลาการทำงานของอัลกอริทึมอาณาจักรมดที่มีมดหลายตัวบนปัญหา *One-Max* 16

ปัญหา *One-Max* ในมัลติกราฟ 16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

อัลกอริทึมอาณาจักรมดแบบมีมดหลายตัวสำหรับปัญหา *One-Max* 17

พิสูจน์เวลาการทำงานของอัลกอริทึม 21

การวิเคราะห์เวลาการทำงานของอัลกอริทึมอาณาจักรมดสำหรับปัญหาวิถีสั้นสุดแบบแหล่งต้นทางเดี่ยวบนกราฟแบบไม่มีวงรอบ 30

พิสูจน์เวลาการทำงานของอัลกอริทึม 30

การลู่เข้าแบบกรีดี้ Greedy Convergence 35

ผลการทดลอง 36

อัลกอริทึมแบบมดหลายตัวบนปัญหา *One-Max* 36

อัลกอริทึมแบบมดตัวเดียวบนปัญหา *One-Max* 43

การเปรียบเทียบการทำงานของอัลกอริทึมแบบอาณาจักรมดระหว่างการใช้มดตัวเดียวและการใช้มดหลายตัว 46

อัลกอริทึมแบบมดหลายตัวบนปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในกราฟแบบไม่มีวงรอบ 47

กราฟแบบไม่มีวงรอบแบบง่าย 47

กราฟแบบไม่มีวงรอบแบบสุ่ม 50

การเปรียบเทียบการทำงานของอัลกอริทึมแบบอาณาจักรมดแบบใช้มดหลายตัวในการทำงานบนปัญหากราฟแบบไม่มีวงรอบแบบสุ่ม โดยมีอัตราการระเหยที่แตกต่างกันเท่ากับ 1/2 และ 1/*n* 54

การเปรียบเทียบการทำงานของอัลกอริทึมแบบอาณาจักรมดแบบใช้มดหลายตัวในการทำงานบนปัญหากราฟแบบไม่มีวงรอบแบบสุ่มและปัญหา *One-Max* โดยมีอัตราการระเหยที่แตกต่างกันเท่ากับ 1/2 และ 1/*n* 55

การเปรียบเทียบเวลาจากการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและเวลาเฉลี่ยในการทำงานจริง 56

สรุป 57

เอกสารอ้างอิง 58

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนรอบของการทำงานของอัลกอริทึมแบบอาณาจักรมด สำหรับปัญหา *One-Max* เมื่อ n มีค่าเป็น 10,20,30,…,100 เมื่ออัตราการระเหยเป็น $1/n$	36
2	แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนรอบของการทำงานของอัลกอริทึมแบบอาณาจักรมด สำหรับปัญหา *One-Max* เมื่อ n มีค่าเป็น 10,20,30,…,100 เมื่ออัตราการระเหยเป็น 1/2	40
3	แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนรอบของการทำงานของ 1-ANT อัลกอริทึม สำหรับปัญหา *One-Max*เมื่อ n มีค่าเป็น 10,20,30,…,100 เมื่ออัตราการระเหยเป็น $1/n$	43
4	แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนรอบของการทำงานของอัลกอริทึมแบบอาณาจักรมดแบบใช้มดหนึ่งตัวสำหรับปัญหา *One-Max* เมื่อ n มีค่าเป็น 10,20,30,…,100 เมื่ออัตราการระเหยเป็น 1/2	45
5	แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนรอบของการทำงานของอัลกอริทึมแบบอาณาจักรมด สำหรับการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในกราฟแบบไม่มีวงรอบแบบง่าย เมื่อ n มีค่าเป็น 9,16,25,…,100	48
6	แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนรอบของการทำงานของอัลกอริทึมแบบอาณาจักรมด สำหรับการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในกราฟแบบไม่มีวงรอบแบบสุ่ม เมื่อ n มีค่าเป็น 20,30,40,…,100	51
7	แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนรอบของการทำงานของอัลกอริทึมแบบอาณาจักรมด สำหรับการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในกราฟแบบไม่มีวงรอบแบบสุ่ม เมื่อ n มีค่าเป็น 20,30,40,…,100 โดยที่กำหนดอัตราการระเหยเป็น 1/2	53

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	เส้นทางการเดินของมดจากรังไปสู่แหล่งอาหาร	4
2	เส้นทางเดินของมดเมื่อเกิดอุปสรรคกีดขวาง	4
3	มดทำการเลือกค้นหาเส้นทางอย่างอิสระและทำการติดต่อสื่อสารกันโดยใช้ฟีโรโมนที่ฝากไว้	4
4	มดสามารถค้นหาเส้นทางที่สั้นกว่าได้โดยใช้ความเข้มข้นของฟีโรโมนในเส้นทางเป็นตัวตัดสินใจ	4
5	แสดงโค้ดเทียมของอัลกอริทึม Ant System	7
6	มดมาถึงที่เมือง r จะทำการเลือกเส้นทางไปยังเมือง s'	8
7	แสดงโครงสร้างของกราฟ *One-Max* ในนิยามของ Neumann และ Witt	13
8	แสดงคุณสมบัติ Phase Transition บนอัตราการระเหย	14
9	แสดงมัลติกราฟในรูปแบบของ *One-Max*	17
10	แสดงโค้ดเทียมของอัลกอริทึมอาณาจักรมดบนปัญหา *One-Max*	18
11	กำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของมดแต่ละตัวในมัลติกราฟบนปัญหา *One-Max*	19
12	ฟังก์ชั่นของการเลือกเส้นทางขอมดในแต่เส้นทาง	19
13	ฟังก์ชั่นคำนวนค่าระยะทาง	20
14	ฟังก์ชั่นของการปรับค่าฟีโรโมนตามเงื่อนไข	20
15	พิจารณามดอยู่ที่โหนด $n-1$	25
16	แสดงคู่ของเส้นเชื่อมคู่ที่ $n-1$ ที่กลายสถานะเป็นการอิ่มตัวอย่างถูกต้อง	27
17	แสดงคู่ของเส้นเชื่อมของมดในโหนดที่ i	27
18	แสดงทางเลือกของมดที่โหนด u ไปโหนดใดๆ	31
19	กราฟ G เป็น DAG ในพิจารณามดในโหนดระดับ v	32
20	กราฟ G เป็น DAG ในพิจารณามดในโหนดระดับ u	33
21	ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งของรอบการทำงานของอัลกอริทึมแบบอาณาจักรมดสำหรับปัญหา *One-Max* เมื่อ n มีค่าเป็น 10,20,30,…,100 โดยที่อัตราการระเหยเป็น $1/n$	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

22 การปรับค่าของฟีโรโมนบนเส้นทางที่ x_i มีค่าเป็น 1 เมื่อเทียบกับเวลา *multiple-ant algorithm* สำหรับ *One-Max* โดยกำหนด n = 30 เมื่ออัตราการระเหยเป็น 1/n 37

23 การปรับค่าของฟีโรโมนบนเส้นทางที่ x_i มีค่าเป็น 0 เมื่อเทียบกับเวลา *multiple-ant algorithm* สำหรับ *One-Max* โดยกำหนด n = 30 เมื่ออัตราการระเหยเป็น 1/n 38

24 การปรับค่าของฟีโรโมนบนเส้นทางที่ x_i มีค่าเป็น 1 เมื่อเทียบกับเวลา *multiple-ant algorithm* สำหรับ *One-Max* โดยกำหนด n = 100 เมื่ออัตราการระเหยเป็น 1/n 39

25 การปรับค่าของฟีโรโมนบนเส้นทางที่ x_i มีค่าเป็น 0 เมื่อเทียบกับเวลา *multiple-ant algorithm* สำหรับ *One-Max* โดยกำหนด n = 100 เมื่ออัตราการระเหยเป็น 1/n 39

26 เปรียบเทียบอัตราการระเหยของเส้นเชื่อมที่ 1 และ n-1 40

27 ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งของรอบการทำงานของอัลกอริทึมแบบอาณาจักรมดสำหรับปัญหา *One-Max* เมื่อ n มีค่าเป็น 10,20,30,…,100 โดยที่อัตราการระเหยเป็น 1/2 41

28 การปรับค่าของฟีโรโมนบนเส้นทางที่ x_i มีค่าเป็น 1 เมื่อเทียบกับเวลา (*multiple-ant algorithm* สำหรับ *One-Max* โดยกำหนด n = 100 เมื่ออัตราการระเหยเป็น 1/2) 41

29 แสดงการเปรียบจำนวนรอบการทำงานปรับเปลี่ยนอัตราการระเหยเป็น 1/n และ 1/2 บนปัญหา One-Max แบบใช้มดหลายตัว 42

30 การปรับค่าของฟีโรโมนบนเส้นทางที่ x_i มีค่าเป็น 1 เมื่อเทียบกับเวลา (1-ANT อัลกอริทึม สำหรับ *One-Max* โดยกำหนด n = 30 อัตราการระเหยเป็น 1/n) 43

31 การปรับค่าของฟีโรโมนบนเส้นทางที่ x_i มีค่าเป็น 0 เมื่อเทียบกับเวลา 1-ANT อัลกอริทึม สำหรับ *One-Max* โดยกำหนด n = 30 อัตราการระเหยเป็น 1/n 44

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

32 ผลรวมของ x_i เมื่อ $i = 1$ ของ 1-ANT อัลกอริทึม สำหรับ *One-Max* โดยกำหนด $n = 30$ 44

33 เปรียบเทียบจำนวนรอบของการทำงานระหว่างอัลกอริทึมอาณาจักรมดที่ใช้มดหลายตัวและการใช้มดตัวเดียวในการทำงาน เมื่อ $n = 10,20,30,...,90$ เมื่ออัตราการระเหยเป็น $1/n$ 46

34 เปรียบเทียบจำนวนรอบของการทำงานระหว่างอัลกอริทึมอาณาจักรมดที่ใช้มดหลายตัวและการใช้มดตัวเดียวในการทำงาน เมื่อ $n = 10,20,30,...,90$ เมื่ออัตราการระเหยเป็น 1/2 46

35 แสดงตัวอย่างกราฟซึ่งเป็นกราฟแบบแบบไม่มีวงรอบขนาด $k = 4$ (แบบกริด n เป็น 25) 47

36 ค่าเฉลี่ยจำนวนรอบของการทำงานของอัลกอริทึมแบบอาณาจักรมดสำหรับการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในกราฟแบบไม่มีวงรอบแบบง่าย เมื่อ n มีค่าเป็น $9,16,25,\ldots,100$ และอัตราการระเหยเป็น $1/n$ 48

37 ตัวอย่างการปรับค่าของฟีโรโมนโดยใช้อัลกอริทึมแบบอาณาจักรมดสำหรับปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในกราฟแบบไม่มีวงรอบเมื่อ $n = k^2, n = 5$ 48

38 แสดงการปรับค่าจาก $\tau_{\min}$ ไปสู่ค่า $\tau_{\max}$ โดยใช้อัลกอริทึมแบบอาณาจักรมดสำหรับปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในกราฟแบบไม่มีวงรอบเมื่อ $n = k^2, n = 5$ 49

39 แสดงตัวอย่างกราฟแบบไม่มีวงรอบแบบสุ่ม โดยกำหนดจำหนดโหนดในกราฟเป็น n เท่ากับ 50 และจำนวนเส้นเชื่อมมากสุดในแต่ละโหนดเท่ากับ 5 50

40 ตัวอย่างการปรับค่าของฟีโรโมนโดยใช้อัลกอริทึมแบบอาณาจักรมดแบบมดหลายตัว สำหรับปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในกราฟแบบไม่มีวงรอบแบบสุ่มเมื่อ n=100 และอัตราการระเหยเป็น $1/n$ 51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
41	ตัวอย่างการปรับค่าของฟีโรโมนโดยใช้อัลกอริทึมแบบอาณาจักรมดแบบมดหลายตัว สำหรับปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในกราฟแบบไม่มีวงรอบแบบสุ่มเมื่อ $n = 30$ และอัตราการระเหยเป็น 1/2	52
42	เปรียบเทียบจำนวนครั้งของการทำงานของอัลกอริทึมแบบอาณาจักรมดแบบใช้มดหลายตัวในการทำงานบนกราฟแบบไม่มีวงรอบแบบสุ่ม ที่ใช้อัตราการระเหยเป็น 1/2 และ $1/n$	54
43	เปรียบเทียบการทำงานของอัลกอริทึมอาณาจักรมดแบบใช้มดหลายตัวในการทำงาน โดยด้ายซ้ายเป็นปัญหา *One-Max* และด้านขวาเป็นปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดบนกราฟแบบไม่มีวงรอบแบบสุ่ม	55
44	เปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการทำงานจริงเทียบกับเวลาในการวิเคราะห์	56