



โครงการคณิตศาสตร์
เรื่อง การศึกษาความเป็นกลางของจำนวนคู่และคี่โดยการใช้
เลขทศนิยมของค่าพาย ค่าอัตราส่วนทองคำ และค่าอี

โดย
นายธนพัฒน์ สิทธิยอดยิ่ง
นายณวีร์ สุริยันต์
นายวศิน ยืนยงวศิน

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา ค 30299 โครงการคณิตศาสตร์ 2
ตามหลักสูตรห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ของ สสวท.
โรงเรียนเทพศิรินทร์
ภาคเรียนที่ 1 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2563



โครงการคณิตศาสตร์
เรื่อง การศึกษาความเป็นกลางของจำนวนคู่และคี่โดยใช้
เลขทศนิยมของค่าพาย ค่าอัตราส่วนทองคำ และค่าอี

โดย

นายธนพัฒน์ สิทธิยออดยิ่ง

นายณวีร์ สุริยันต์

นายวศิน ยืนยงวศิน

ครูที่ปรึกษา

นางจรรพินทร์ วิไลจรรพวรรณ

นายพนนทกร อรุณพฤชชากุล

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา ค 30299 โครงการคณิตศาสตร์ 2

ตามหลักสูตรห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ของ สสวท.

โรงเรียนเทพศิรินทร์

ภาคเรียนที่ 1 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 256

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การศึกษาความเป็นกลางของจำนวนคู่และคี่โดยการใช้เลขทศนิยมของค่าพาย

ค่าอัตราส่วนทองคำ และค่าอี

ชื่อผู้ศึกษา : นายธนพัฒน์ สิทธิยอดยิ่ง

นายณวีร์ สุริยันต์

นายวศิน ยืนยงวศิน

ในการสุ่มเลขคู่และเลขคี่ โดยใช้เลขทศนิยมของค่าพาย ค่าอัตราส่วนทองคำ และค่าอี เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความเป็นกลางของทั้งสามค่าดังกล่าว ทางคณะผู้จัดทำมีการดำเนินงาน โดยใช้ภาษา python ในการสร้างโปรแกรมคำนวณสำหรับหาความไม่เป็นกลาง ซึ่งมีการนำ Visual Studio Code มาใช้ร่วมด้วย ขั้นตอนวิธีการคือ การสุ่มช่วงตำแหน่งของเลขทศนิยมของค่าคงที่ กล่าวคือ สุ่มตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสุดท้ายของเลขทศนิยมทั้งสามค่า โดยตำแหน่งแรกและตำแหน่งสุดท้ายจะอยู่ห่างกันอย่างน้อย 1,000 ตำแหน่งขึ้นไป หลังจากขั้นตอนดังกล่าว จะนำเลขทศนิยมทุกตำแหน่งที่สุ่มมาได้นำมาบันทึกผลลัพธ์ว่าเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ และทำการเฉลี่ยความน่าจะเป็นในการออกเลขคู่และเลขคี่ในแต่ละรอบออกมา มีวิธีการทดสอบ 6 รูปแบบโดยแบ่งเป็นใช้เลขทศนิยมจำนวน 10,000 ตำแหน่งและ 100,000 ตำแหน่งและแบ่งการสุ่มเป็น 1,000 รอบ 10,000 รอบและ 100,000 รอบ และเก็บผลการสุ่มในแต่ละรอบไว้ในโปรแกรม DB Browser (SQLite) เพื่อตรวจสอบผลการดำเนินงานของโปรแกรมในแต่ละรอบ หลังจากทำการศึกษาพบว่าผลลัพธ์เปอร์เซ็นต์ความไม่เป็นกลางจากการใช้จำนวนรอบที่ต่างกันจะมีผลเป็นไปในทางเดียวกันแต่หากใช้จำนวนตำแหน่งเลขทศนิยมต่างกันจะมีผลต่างกัน โดยผลลัพธ์เปอร์เซ็นต์ความไม่เป็นกลางจากการใช้ทศนิยม 10,000 ตำแหน่ง 100,000 รอบ แสดงให้เห็นว่า ค่าอีมีความเป็นกลางมากที่สุด ตามด้วยค่าพาย และค่าอัตราส่วนทองคำ ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการเรื่องการศึกษาความเป็นกลางของจำนวนคู่และคี่โดยใช้เลขทศนิยมของค่าพาย ค่าอัตราส่วนทองคำ และค่าอี เป็นโครงการที่ทางคณะผู้จัดทำตั้งใจทำออกมาให้มีประโยชน์ต่อการนำค่าความเป็นกลางที่ได้จากค่าพาย ค่าอัตราส่วนทองคำ และค่าอีนำไปประกอบการตัดสินใจในการทำโปรแกรมการสุ่มตามที่คุณศึกษาพึงประสงค์ รวมทั้งการศึกษาพัฒนาต่อยอดของผู้ศึกษาในภาคหน้า ซึ่งการที่จะบรรลุเป้าหมายสูงสุดได้ ต้องเกิดจากการร่วมแรงร่วมใจในการทำงาน ซึ่งที่ขาดไม่ได้เลยคือความอนุเคราะห์จากคณาจารย์ทุกคน ที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษารวมถึงคำชี้แนะและแง่คิดต่าง ๆ แก่ผู้คณะจัดทำ จนทำให้โครงการดังกล่าวสำเร็จลุล่วงตามเป้าหมายได้อย่างสมบูรณ์

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณคุณครูจรรยาพันธ์ วิไลจรรุวรรณ และคุณครูนนทกร อรุณพฤษภากุล ที่เป็นพี่ปรึกษาตลอดการทำโครงการในครั้งนี้ อีกทั้งยังคอยช่วยเหลือ เตือนสติ และให้ประสบการณ์ในการดำเนินโครงการ รวมถึงนายปุณณวัช นามวงษา ที่คอยช่วยชี้แนะเรื่องการเขียนโปรแกรมจนสำเร็จผลลุล่วง

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคณะกรรมการพิจารณาโครงการ และคณะทำงานทุกฝ่ายที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำโครงการคณิตศาสตร์ครั้งนี้ รวมถึงการจัดทำรูปแบบโครงการคณิตศาสตร์เรื่องการศึกษาความเป็นกลางของจำนวนคู่และคี่โดยใช้เลขทศนิยมของค่าพาย ค่าอัตราส่วนทองคำ และค่าอี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง	11
บทที่ 4 ผลการทดลอง	12
บทที่ 5 สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ	18
เอกสารอ้างอิง	21
ภาคผนวก	23

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 การกระจายของตัวเลขของตำแหน่งทัศนียมของค่าพาย หนึ่งล้านล้าน ตำแหน่ง	10
ตารางที่ 4.1 ผลการสุ่มโดยใช้เลขทัศนียมจำนวน 10,000 ตำแหน่ง	17
ตารางที่ 4.2 ผลการสุ่มโดยใช้เลขทัศนียมจำนวน 100,000 ตำแหน่ง	17

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 4.1 โค้ดบรรทัดที่ 1-25 บนโปรแกรม Visual studio code	12
ภาพที่ 4.2 โค้ดบรรทัดที่ 26-71 บนโปรแกรม Visual studio code	13
ภาพที่ 4.3 โค้ดบรรทัดที่ 72-104 บนโปรแกรม Visual studio code	14
ภาพที่ 4.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมบน Visual code studio	15
ภาพที่ 4.5 ผลลัพธ์ที่แสดงออกมาในรูปกราฟ	15
ภาพที่ 4.6 การจัดเก็บข้อมูลจากการทำงานของโปรแกรม	16
ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงผลลัพธ์จากการกำหนดเลขทศนิยม 100,000 ตำแหน่งและทำ 10,000 ครั้ง	16

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ตัวเลขคือปริมาณในทางคณิตศาสตร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีมากหรือน้อยเพียงใด เป็นสัญลักษณ์ที่มนุษย์คิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้เขียนแทนการนับจำนวน[1] ทุก ๆ อย่างบนโลกเราสามารถระบุได้ในรูปของค่าทางคณิตศาสตร์หรือตัวเลข

ค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์หลาย ๆ ค่าสามารถพบได้ทั่วไปตามชีวิตประจำวัน เช่น ค่าไอที่พบได้มากในชีวิตประจำวัน ค่าพายที่ใช้ในรูปวงกลมของธรรมชาติ หรือแม้กระทั่งอัตราส่วนของค่าที่พบตามร่างกายของคนเรา ค่าทางคณิตศาสตร์พวกนี้ถูกคิดค้นมาด้วยวิธีที่ต่างกัน แต่แต่ละตัวก็จะมีรูปแบบเฉพาะที่ไม่ตายตัวเมื่อคำนวณออกมาในรูปของทศนิยม

ค่าตำแหน่งตัวเลขที่อัศจรรย์บางค่าถูกนำมาใช้ในชีวิตประจำวัน อย่างเช่น ค่าของตำแหน่งทศนิยมของค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์ถูกนำไปใช้ในกระบวนการสุ่มเทียมทางคอมพิวเตอร์ของตัวเลข ในการหาโอกาสความน่าจะเป็นที่จะออกเลขคู่หรือเลขคี่ซึ่งมีรากฐานมาจากการนำค่าพาย (π) มาใช้[2] เมื่อเริ่มกระบวนการสุ่มเทียมทางคอมพิวเตอร์โดยใช้เลขทศนิยมค่าพายแล้ว ทางผู้ออกแบบโปรแกรมสามารถกำหนดผลลัพธ์ที่จะแสดงออกมาได้จากเลขคี่และเลขคู่ที่ได้จากการสุ่ม เช่น หากเลขที่ได้จากตำแหน่งดังกล่าวเป็นเลขคู่จะแสดงผลเป็นหัว แต่ถ้าหากเลขที่ได้จากตำแหน่งดังกล่าวเป็นเลขคี่จะแสดงผลเป็นก้อย[3] หากการใช้เลขทศนิยมของค่าพายดังที่กล่าวมาข้างต้นไม่สามารถให้โอกาสความน่าจะเป็นในการออกเลขคี่และเลขคู่อย่างละ 0.5 กล่าวคือ หากทางคณะผู้จัดทำได้นำค่าคงที่คณิตศาสตร์ที่เป็นที่รู้จักกันทั่วไป ได้แก่ ค่าอัตราส่วนของค่า และค่าไอ นำมาใช้เป็นรากฐานในการสุ่มของตัวเลขแทนค่าพายแล้ว โดยจะทำการสุ่มค่าตำแหน่งเลขทศนิยมจำนวน 10,000 และ 100,000 ตำแหน่งแรก จะเป็นอย่างไร และในอนาคตจะมีการเปลี่ยนแปลงการสุ่มเทียมทางคอมพิวเตอร์ นอกเหนือจากค่าพายที่ใช้อยู่ในปัจจุบันหรือไม่

ทางคณะผู้จัดทำได้เห็นถึงความสำคัญของการศึกษาโอกาสความน่าจะเป็นในการแสดงผลเป็นเลขคู่ เลขคี่ โดยการใช้ค่าพาย ค่าอัตราส่วนของค่า และค่าไอ ซึ่งคณะผู้จัดทำคาดหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลการศึกษานี้จะมีประโยชน์ต่อการปรับเปลี่ยนการสุ่มเทียมให้มีความเท่าเทียมในการออกเลขคู่และเลขคี่มากขึ้นในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความเป็นกลางของเลขคู่ เลขคี่ โดยการใช้เลขทศนิยมของค่าพาย ค่าอัตราส่วนทองคำ และค่าอี

1.3 นิยามศัพท์เฉพาะ

ความเป็นกลาง หมายถึง โอกาสความน่าจะเป็นในการออกเลขคู่หรือเลขคี่อย่างตัดเทียม การสุ่มเทียม หมายถึง การสุ่มที่ไม่ใช่การสุ่มอย่างแท้จริง โดยมีรูปแบบที่ถูกกำหนดไว้แล้ว การสุ่มอย่างแท้จริง หมายถึง การสุ่มที่ไม่มีรูปแบบที่ตายตัว ไม่สามารถศึกษารูปแบบได้

ค่าพาย หมายถึง ค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์ที่เกิดจากการนำความยาวของเส้นรอบวงหารด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลม มันเป็นค่าที่มีตัวเลขยาวต่อเนื่องกันไปอย่างไม่รู้จบ และไม่มีชุดตัวเลขใดที่ซ้ำกัน แทนด้วยตัวอักษร π มีค่าโดยประมาณเท่ากับ 22/7 หรือ 3.1415926535[5]

อัตราส่วนทองคำ หมายถึง ค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์ที่ไม่มีเหตุผลชัดเจน อัตราส่วนทองคำมักจะแทนด้วยตัวอักษร ϕ มีค่าโดยประมาณ 1.6180339887[6]

ค่าอี หมายถึง จำนวนอตรรกยะ แทนด้วยตัวอักษร e ซึ่งมีค่าประมาณ 2.7182818284[7]

เปอร์เซ็นต์ความไม่เป็นกลาง หมายถึง ผลต่างระหว่างค่าที่ได้และค่าที่คาดหวัง ส่วนด้วยค่าที่คาดหวัง คูณด้วย 100

1.6 ขอบเขตของการดำเนินงาน

การศึกษาของโครงการวิจัยเล่มนี้ จะศึกษาโดยการสร้างตัวสุ่มเทียมขึ้นมาจากการสุ่มภายในคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นการสุ่มแท้โดยไม่คำนึงถึงวิธีการสุ่มภายในคอมพิวเตอร์

การศึกษาของโครงการวิจัยเล่มนี้ จะใช้เลขทศนิยมของค่าพาย ค่าอัตราส่วนทองคำ ค่าอีโดยใช้เลขทศนิยมเพียง 100,000 ตำแหน่งเท่านั้น

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.7.1 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความเป็นกลางในการใช้เลขทศนิยมของค่าพาย ค่าอัตราส่วนทองคำ และค่าอี

1.7.2 สามารถนำค่าความเป็นกลางที่ได้จากค่าพาย ค่าอัตราส่วนทองคำ และค่าอี นำไปประกอบการตัดสินใจในการทำโปรแกรมการสุ่ม

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทำโครงการเรื่อง การศึกษาความเป็นกลางของจำนวนคู่และคี่โดยใช้เลขทศนิยมของค่าพาย ค่าอัตราส่วนทองคำ และค่าอี คณะผู้จัดทำได้รวบรวมเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 อัตราส่วน

อัตราส่วน (ratio) คือ ปริมาณอย่างหนึ่งที่แสดงถึงจำนวนหรือขนาดตามสัดส่วนเมื่อเปรียบเทียบกับอีกปริมาณหนึ่งที่เกี่ยวข้องกัน อัตราส่วนจะเป็นปริมาณที่ไม่มีหน่วย หากอัตราส่วนนั้นเกี่ยวข้องกับปริมาณที่อยู่ในมิติเดียวกัน และเมื่อปริมาณสองอย่างที่เปรียบเทียบกับกันเป็นคนละชนิดกัน หน่วยของอัตราส่วนจะเป็นหน่วยแรกต่อหน่วยที่สอง ตัวอย่างเช่น ความเร็วสามารถแสดงได้ในหน่วย กิโลเมตรต่อชั่วโมงเป็นต้น ถ้าหน่วยที่สองเป็นหน่วยวัดเวลา จะเรียกอัตราส่วนชนิดนี้ว่า อัตรา (rate) [4]

2.1.1 ค่าพาย

พาย (π) เป็นค่าคงตัวทางคณิตศาสตร์ ที่เกิดจากความยาวเส้นรอบวงหารด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลม ค่า π มักใช้ในคณิตศาสตร์ ฟิสิกส์ และวิศวกรรม ในเรขาคณิตแบบยูคลิด π มีนิยามว่าเป็นอัตราส่วนของเส้นรอบวงหารด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลม หรือเป็นอัตราส่วนของพื้นที่วงกลมหารด้วยรัศมีกำลังสอง ในคณิตศาสตร์ชั้นสูงจะนิยาม π โดยใช้ฟังก์ชันตรีโกณมิติ เช่น π คือจำนวนบวก x ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ $\sin(x) = 0$ [8]

นอกจากนี้ค่าพายยังเป็นจำนวนอตรรกยะ (irrational number) ซึ่งเป็นจำนวนจริงประเภทหนึ่ง ที่สามารถเขียนในรูปของทศนิยมได้อย่างไม่มีที่สิ้นสุดและมีรูปแบบที่ไม่ซ้ำกัน ทั้งนี้ในหนึ่งล้านหลักแรกของจุดทศนิยมก็ยังไม่พบลำดับของตัวเลข 123456 อีกทั้งค่าของพายสามารถคำนวณหาขนาดของจักรวาลได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ด้วยเลขนัยสำคัญจำนวนสามสิบเก้าหลักเท่านั้น (3.14159265358979323846264338327950288420)

จึงทำให้นักคณิตศาสตร์และผู้ที่ยื่นขอใบสาสตร์แห่งตัวเลขพยายามที่จะคำนวณค่าที่แท้จริงของพาย ให้ได้ใกล้เคียงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้[5]

อัตราส่วนทองเป็นค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์ที่ไม่มีเหตุผลชัดเจน มีค่าประมาณ 1.6180339887 ชื่ออื่นที่เป็นที่รู้จักของอัตราส่วนทอง เช่น golden section ,golden mean, extreme and mean ratio และอื่นๆ

2.1.2 ค่าอัตราส่วนทองคำ

อัตราส่วนทอง (golden ratio) ในทางคณิตศาสตร์และศิลปะนั้น เลขสองจำนวน (สมมติให้เป็น a , b และ $a > b$) จะเป็นอัตราส่วนทอง ถ้าอัตราส่วนระหว่างจำนวนมาก (a) ต่อผลรวม ($a + b$) มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างจำนวนน้อย (b) ต่อจำนวนมาก (a)

$$\frac{a+b}{a} = \frac{a}{b} = \varphi$$

$$\varphi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} \approx 1.618033988$$

โดยค่านี้จะเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าของลำดับฟีโบนัชชี 2 ค่า เช่น 610:987 จะพบว่า อัตราส่วน 1 : 1.618[9]

2.1.3 ค่าอี

e เป็นค่าคงตัวทางคณิตศาสตร์ ที่เป็นฐานของลอการิทึมธรรมชาติ มีค่าประมาณ 2.71828 นิยามได้หลายวิธี เช่น e เป็นจำนวนจริงที่สอดคล้องกับเงื่อนไขที่ว่า ฟังก์ชัน e^x มีค่าเท่ากับ ความชัน สำหรับทุกจำนวนจริง x หรือกล่าวได้ว่า อนุพันธ์ของฟังก์ชันดังกล่าวมีค่าเท่ากับตัวมันเอง เสมอ ซึ่งฟังก์ชันที่สอดคล้องกับเงื่อนไขนี้จะอยู่ในรูป ke^x เมื่อ k เป็นค่าคงตัวใด ๆ นอกจากนี้ e ยังมีค่าเท่ากับ

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$$

ซึ่งเป็นสมการที่พบในการคำนวณเกี่ยวกับดอกเบี้ยทบต้น (Compound interest) คิดค้น โดยจาคอบ แบร์นูลลี นอกจากนี้ สามารถคำนวณได้โดยสูตรอนุกรมอนันต์ (Infinite series) มีค่าเท่ากับ[10]

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} = \frac{1}{1} + \frac{1}{1} + \frac{1}{1 \cdot 2} + \frac{1}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \dots$$

2.2 ความน่าจะเป็น

ความน่าจะเป็น คือ การวัดหรือการประมาณความเป็นไปได้ว่า บางสิ่งบางอย่างจะเกิดขึ้น หรือถ้อยแถลงหนึ่ง ๆ จะเป็นจริงมากเท่าใด ความน่าจะเป็นมีค่าตั้งแต่ 0 (โอกาส 0% หรือ จะไม่เกิดขึ้น) ไปจนถึง 100 (โอกาส 100% หรือ จะเกิดขึ้น) ระดับของความน่าจะเป็นที่สูงขึ้น คือความเป็นไปได้มากขึ้นที่เหตุการณ์นั้นจะเกิด หรือถ้ามองจากเงื่อนไขเวลาของการสุ่มตัวอย่าง คือ จำนวนครั้งมากขึ้นที่เหตุการณ์เช่นนั้นคาดหวังว่าจะเกิด

มโนทัศน์เหล่านี้มาจากการแปลงคณิตศาสตร์เชิงสัจพจน์ในทฤษฎีความน่าจะเป็น ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในขอบเขตการศึกษาต่าง ๆ เช่น คณิตศาสตร์ สถิติศาสตร์ การเงิน การพนัน วิทยาศาสตร์ ปัญญาประดิษฐ์และปรัชญา เพื่อร่างข้อสรุปเกี่ยวกับความถี่ที่คาดหวังเหตุการณ์ต่าง ๆ เป็นอาทิ ทฤษฎีความน่าจะเป็นก็ยังนำมาใช้เพื่ออธิบายกลไกรากฐานและความสม่ำเสมอของระบบซับซ้อน[11]

นักคณิตศาสตร์จะมองความน่าจะเป็นว่าเป็นตัวเลขระหว่างศูนย์กับหนึ่ง ที่กำหนดให้กับเหตุการณ์ (ความน่าจะเป็นที่เท่ากับ 0 ก็คือไม่มีโอกาสที่เหตุการณ์นั้นจะเกิดขึ้น แต่ถ้าความน่าจะเป็นเท่ากับ 1 แสดงว่าเหตุการณ์เหล่านั้นเกิดขึ้นได้อย่างแน่นอน) ที่เกิดขึ้นแบบสุ่ม ความน่าจะเป็นถูกกำหนดให้กับเหตุการณ์ E ตามสัจพจน์ของความน่าจะเป็น[12]

นอกจากเรื่องโยนลูกเต๋า โยนเหรียญ จับสลาก แจกไพ่แล้ว ยังมีเรื่องอื่น ๆ อีกมาก ที่มีผลเกิดขึ้น ซึ่งบอกล่วงหน้าไม่ได้ว่าจะให้ผลอย่างไร ทางคณิตศาสตร์จึงต้องใช้สัญลักษณ์มาช่วยจำลองเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นเฉพาะเรื่อง และอาศัยกฎเกณฑ์ของคณิตศาสตร์ในแขนงอื่น ๆ ทำให้เกิดทฤษฎีต่าง ๆ ที่สามารถนำไปหาค่าความน่าจะเป็นของเรื่องที่เกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอนทั้งหลายได้ และสามารถใช้ค่าเหล่านี้คำนวณหาค่าอื่นๆ ที่จะเป็นประโยชน์ ในการนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจ เช่น ใช้ค่าของความน่าจะเป็นที่จะมีลูกค้าเข้ามาซื้อของในร้าน เพื่อหาว่า โดยเฉลี่ยจะมีลูกค้าเข้ามาซื้อของกี่คน[13]

2.3 ตัวสร้างเลขสุ่มเทียม

ตัวสร้างเลขสุ่มเทียม (pseudorandom number generator : PRNG) หรือที่รู้จักกันในอีกชื่อหนึ่ง ตัวสร้างบิตสุ่มแบบกำหนดได้ (deterministic random bit generator : DRBG) [14] คือ อัลกอริทึมที่สร้างลำดับจำนวนที่มีลักษณะใกล้เคียงกับการสุ่ม โดยการสุ่มของ PRNG เป็นการสร้างจำนวนที่ไม่ใช่การสุ่มแท้ เพราะว่าการสุ่มนี้สามารถคาดการณ์ได้จากค่าเริ่มต้นของการสุ่ม หรือที่เรียกว่า seed (ซึ่งอาจจะเป็นการสุ่มจริงบางส่วน) ถึงแม้ว่าลำดับตัวเลขที่ได้จากขั้นตอนวิธีตัวสร้างเลขสุ่มเทียมนี้จะใกล้เคียงกับลำดับเลขสุ่มแท้จริงมากแค่ไหน แต่ก็ไม่ได้เป็นลำดับตัวเลขแบบสุ่มที่แท้จริงเนื่องจากลำดับตัวเลขที่ได้ออกมาจากตัวสร้างเลขสุ่มเทียมทั้งหมดได้มาจากกลุ่มเล็ก ๆ ของค่าเริ่มต้นที่ได้ถูกกำหนดให้เป็นตัวตั้งต้น (seed) ของตัวสร้างเลขสุ่มเทียม ถึงแม้ว่ามีตัวสร้างเลขสุ่มจากฮาร์ดแวร์ที่สามารถนำมาสร้างลำดับสุ่มแท้ได้[14]

คุณสมบัติทางสถิติของผลลัพธ์ที่ติดจาก PRNG โดยทั่วไปแล้วจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์อย่างระมัดระวังเพื่อให้ผลลัพธ์มีความเหมาะสมกับสถานการณ์ที่ใช้กันมากที่สุด John von Neuman เตือนเรื่องการตีความของ PRNG ว่าเป็นการสุ่มจริง และกล่าวคำพูดไว้ว่า “ทุกคนที่คิดว่าการสุ่มตัวเลขทางคณิตศาสตร์เป็นจริงคือ คนบาป”[15]

PRNG มีความสำคัญในทางคณิตศาสตร์เป็นอย่างมากโดยเกี่ยวกับการเข้ารหัสและการเสี่ยงโชคในระบบคอมพิวเตอร์ ตัวสร้างเลขสุ่มเทียมมีทั้งได้จากฮาร์ดแวร์ซึ่งเป็นการสุ่มแท้และจากซอฟต์แวร์ซึ่งเป็นการสุ่มเทียม (pseudorandomness) โดยในที่นี้จะกล่าวถึงแต่ตัวสร้างเลขสุ่มเทียมจากซอฟต์แวร์

ลำดับสุ่มเสมือนที่ได้จากตัวสร้างเลขสุ่มเทียมเองก็มีความสำคัญในทางปฏิบัติหลาย ๆ อย่างทั้งในด้านการจำลอง เช่น ด้านการก่อกำเนิดกระบวนการคำนวณ (procedural generation) ด้านระบบกายภาพที่ใช้วิธีมอนติคาร์โล ด้านการเข้ารหัส (cryptography) ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์กราฟิก (โปรแกรมประยุกต์และวิดีโอเกมขั้นออกแบบ) ขั้นตอนวิธีเชิงสุ่มมากมายเองก็ได้อิทธิพลมาจากตัวสร้างเลขสุ่มเทียมเป็นส่วนหนึ่งในการแก้ปัญหา นอกจากการใช้งานแล้วการพิสูจน์ว่าตัวสร้างเลขสุ่มเทียมใช้งานได้จริงก็มีความสำคัญไม่แพ้กัน ซึ่งการพิสูจน์นี้ต้องอาศัยการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ในการทำให้แน่ใจได้ว่าตัวสร้างเลขสุ่มเทียมได้สร้างลำดับสุ่มเสมือนที่มีลักษณะสุ่มเพียงพอสำหรับการใช้งาน

ตัวสร้างเลขสุ่มเทียม เริ่มต้นจากสถานะเริ่มต้นอะไรก็ได้โดยใช้สถานะ seed (สถานะเริ่มต้น) เป็นตัวเริ่มต้นของตัวสร้างเลขสุ่มเทียม ซึ่งทำให้เกิดการวนซ้ำของลำดับได้โดยความยาวสูงสุดของลำดับสุ่มเสมือนก่อนเกิดการซ้ำเกิดขึ้นถูกวัดจากขนาดของสถานะซึ่งวัดได้โดยความยาวของบิต ความยาวคาบของการวนซ้ำสูงสุดจะยาวเพิ่มเป็น 2 เท่าทุก 1บิตที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้ง่ายที่จะสร้างตัว

สร้างเลขสุ่มเทียม ที่มีคาบการวนซ้ำที่ยาวเพียงพอสำหรับหลายๆโปรแกรมในทางปฏิบัติ ถ้าสถานะของ ตัวสร้างเลขสุ่มเทียม มี n บิต คาบการวนซ้ำจะไม่ยาวเกินกว่า 2^n ถึงแม้ว่า ตัวสร้างเลขสุ่มเทียม จะมีการซ้ำของผลลัพธ์หลังจากถึงคาบการวนซ้ำแต่การเจอตัวซ้ำไม่ได้หมายความว่ามันครบคาบการวนซ้ำเสมอไปเพราะคาบการวนซ้ำที่แท้จริงอาจจะยาวกว่านี้ [16]

ตัวสร้างความสอดคล้องแบบเชิงเส้น (linear congruential generators : LCG) เป็นหนึ่งใน ขั้นตอนวิธีที่นิยมใช้งานของ PRNG ซึ่งเป็นการสร้างตัวสุ่มโดยใช้สมการเวียนเกิด (recurrence relation) ที่มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$r_{i+1} = ar_i + b(\text{mod } d)$$

เมื่อ	r_i	คือ ลำดับของตัวเลขสุ่ม
	i	คือ ลำดับของตัวเลขสุ่ม ซึ่งเป็นจำนวนนับ ($n = 0$ ถือว่าเป็นค่าเริ่มต้น)
	d	คือ ตัวที่นำไปหาเศษ เป็นจำนวนเต็มที่มีค่ามากกว่า 0
	a	คือ ตัวคูณ เป็นจำนวนเต็มที่มีค่ามากกว่า 0 แต่น้อยกว่า m
	b	คือ ตัวบวก เป็นจำนวนเต็มที่มีค่ามากกว่าเท่ากับ 0 แต่น้อยกว่า m

เพราะคอมพิวเตอร์ถูกตั้งโปรแกรมให้ดำเนินการตามคำสั่งเกี่ยวกับเลขคณิต ซึ่งอาจมีหลายคนสงสัยว่ามันเป็นไปได้อย่างไรที่จะได้ตัวเลขสุ่มจากคอมพิวเตอร์ ในความเป็นจริงแล้ว มันเป็นไปได้ อย่างไรก็ตาม โปรแกรมสามารถถูกออกแบบให้ผลิตเลขสุ่มเทียม (pseudorandom number) ซึ่งเป็นตัวเลขที่ทำงานสำหรับเป้าประสงค์ในทางปฏิบัติ ในส่วนนี้มันเป็นไปได้อย่างไรเพื่อให้ขั้นตอนการสุ่มที่ได้วางแผนไว้ให้เข้าไปใน R และได้รับการลงมือที่มีประสิทธิภาพและมีประโยชน์อย่างยิ่งของการสุ่ม[17]

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ilya Rogers, Greg Harrell, and Jin Wang (2015) ได้ทำการศึกษาการใช้เลขโดดค่าพายในการสุ่มตัวเลขโดยการวิเคราะห์ด้วยภาพและสถิติ (Using π digits to Generate Random Numbers: A Visual and Statistical Analysis)

หากจะกล่าวถึงการสร้างค่าพายซึ่งเป็นจำนวนที่มีตำแหน่งที่ดี อย่างไรก็ตามการศึกษานี้จะศึกษาเกี่ยวกับ เครื่องสุ่มตัวเลข (random number generators, RNG) ทุกวันนี้มีการสุ่มตัวเลขเกิดขึ้นมากมายในตลาดด้านต่างๆ ซึ่งบางครั้งก็อาจจะพบการสุ่มตัวเลขที่ดี เช่น LCG บางครั้งก็อาจจะพบการสุ่มตัวเลขที่ไม่ดี เช่น UNIVAC ซึ่งเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์เอนกประสงค์ที่ใช้ในเชิงธุรกิจ และพบการสุ่มที่ใช้ตัวเลขเพียง 5 ตัวเลขต่อ 1 รอบ การสุ่มตัวเลขที่ดีที่สุดคือ RNG เนื่องจากความเป็นจริงของโลกแห่งความเป็นจริงและข้อจำกัดของฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์ที่สร้างตัวเลขสุ่มอย่างแท้จริงนั้นยากมาก RNG จึงมีการใช้อัลกอริทึมแทนและได้รับการพัฒนาในการคำนวณผล โดยชุดตัวเลขที่สร้างขึ้นมานี้จะเป็นการสุ่มแบบ 100% แต่ปัญหาหลักของระบบ RNG คือ สามารถมีการทำนายจำนวนต่อไปได้ เพราะมีการวนซ้ำของจำนวนรอบซึ่งบ่อยครั้งจะพยากรณ์ซ้ำ ยิ่งขอบเขตของจำนวนมีใหญ่กว่า RNG เท่าใด จะยิ่งดีกว่า RNG เท่านั้น เนื่องจากข้อเท็จจริงที่ว่าจำนวนให้เลือกมากขึ้น หากจะกล่าวถึงในแง่ค่าพาย ไม่มีการกล่าวว่ายขอบเขตของค่าพายถูกพิสูจน์ในทุกวันนี้ ตามหลักทฤษฎี สามารถคำนวณค่าพายไม่รู้จบได้ แต่เนื่องจากข้อจำกัดของฮาร์ดแวร์มีตัวเลข 12.1 ล้านล้านตำแหน่งเท่านั้น ถ้าหากลองคำนวณโดยใช้ค่าพาย 12 ล้านล้านตำแหน่ง มันเป็นไปได้เลยที่จะสามารถทำนายเลขต่อไปได้ ซึ่ง RNG ที่ดีวัดจากเกณฑ์ต่อไปนี้

1. รูปแบบการกระจายตัว
2. ความต้องการของหน่วยความจำ
3. ความเร็ว
4. การจัดเรียงหมู่ใหม่
5. ความสะดวกในการใช้งาน

หากมีการทดสอบบางอย่างและระดับของเครื่องสุ่มตัวเลขโดยใช้ค่าพายตามเกณฑ์ดังกล่าวข้างต้นพร้อมกับสิ่งอื่น ๆ บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบว่าตัวเลขทศนิยมสามารถใช้เป็นตัวเลขสุ่มได้หรือไม่ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์คือเปรียบเทียบการสุ่มตัวเลขค่าพายในระบบ RNG และ LCG ซึ่งใช้อัลกอริทึมในการสุ่ม

การสุ่มตัวเลขค่าพายในระบบ RNG เป็นเครื่องสุ่มตัวเลขแบบใหม่ อย่างไรก็ตามมันสามารถมีความเร็วและความถูกต้องแม่นยำอย่างที่ไม่เคยมีมาก่อนของ RNG ที่ถูกสร้างขึ้นในระบบพาณิชย์ หากสมมติว่าฐานข้อมูลไม่ใช่ปัญหา และแสดงให้เห็นว่าคนที่สร้างค่าพามีศักยภาพที่ดี อย่างไรก็ตาม

ก็พบปัญหาเล็กน้อยที่ทำให้ไม่สะดวกเหมือน U16807 ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว การสุ่มค่าพายในระบบ RNG ต้องการฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่มากเพื่ออ่านตัวเลขสุ่มจากเพื่อที่จะให้ทำงานได้ดีและไม่มี การกำหนด เนื่องจากค่าพายยังไม่ได้รับการพิสูจน์รูปแบบที่แน่นอนในลำดับตัวเลข จนถึงวันที่ค่าพาย ถูกนำมาใช้เป็นขอบเขตของการสุ่ม ทำให้ทราบว่าค่าพายเป็นค่าที่ใช้ในการสุ่มที่ดี โดยรวมแล้ว เงื่อนไขฐานข้อมูลเลขโดดของค่าพายคือ มีขนาดใหญ่เพียงพอสำหรับการคำนวณค่าพาย ในขณะที่ สร้าง RNs นั้น ไม่สามารถเป็นปัจจัยได้ ซึ่งค่าพายถือว่าเป็นตัวสร้างตัวเลขสุ่มที่ยอดเยี่ยม[2]

Yasumasa Kanada (2003) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการกระจายของตัวเลขของตำแหน่ง ทศนิยมของค่าพาย หนึ่งล้านล้านตำแหน่งแรก

ตารางที่ 2.1 การกระจายของตัวเลขของตำแหน่งทศนิยมของค่าพาย หนึ่งล้านล้านตำแหน่ง

ตัวเลข	จำนวนตำแหน่งที่พบ
0	99,999,485,134
1	99,999,945,664
2	100,000,480,057
3	99,999,787,805
4	100,000,357,857
5	99,999,671,008
6	99,999,807,503
7	99,999,818,723
8	100,000,791,469
9	99,999,854,780
รวม	1,000,000,000,000

จากผลงานวิจัยสามารถบอกเป็นนัยได้ว่าตำแหน่งดูเหมือนว่ามีการกระจายที่เท่าเทียมกัน แต่ก็ยังไม่เพียงพอที่จะสามารถพิสูจน์ว่าค่าพายทั้งหมด[19]

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

การทำโครงงานเรื่อง การศึกษาความเป็นกลางของจำนวนคู่และคี่โดยใช้เลขทศนิยมของค่าพาย ค่าอัตราส่วนทองคำ และค่าอี คณะผู้จัดทำได้มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือพิเศษ

- 1) โปรแกรม visual studio code
- 2) โปรแกรม DB Browser (SQLite)
- 3) เครื่องคอมพิวเตอร์

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2.1 ขั้นตอนการวางแผน

3.2.1.1 วางแผนการเขียนโปรแกรมอย่างง่าย

3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลและโปรแกรม

3.2.2.1 สร้าง folder ใหม่ขึ้นมา

3.2.2.2 เตรียมข้อมูลเลขทศนิยมของค่าพาย ค่าอัตราส่วนทองคำ และค่าอี
มาใส่ในไฟล์ notepad แบ่งออกเป็น ไฟล์และ save ไว้ใน folder ที่สร้างไว้ตามลำดับ

3.2.2.3 เปิดโปรแกรม Visual studio code ขึ้นมาและ save ไว้ใน folder ที่สร้าง

3.2.2.4 เปิดโปรแกรม DB Browser (SQLite) ขึ้นมากด New database และ
save ใน folder ที่สร้างเอาไว้

3.2.2.5 ตั้งค่า table

3.2.3 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม

3.2.3.1 โปรแกรม Visual Studio Code

3.2.3.2 โปรแกรม DB Browser (SQLite)

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

การทำโครงการเรื่อง การศึกษาความเป็นกลางของจำนวนคู่และคี่โดยใช้เลขทศนิยมของค่าพาย ค่าอัตราส่วนทองคำ และค่าอี คณะผู้จัดทำได้ผลการดำเนินงาน ดังนี้

4.1 ผลการออกแบบและเขียนโปรแกรม

จากการออกแบบและการเขียนโปรแกรมหาดังภาพที่ 4.1 4.2 4.3 เพื่อคำนวณหาความแตกต่างจำนวนคู่คี่ในตัวแปรธรรมชาติอันประกอบด้วยค่าพาย ค่าอัตราส่วนทองคำ และค่าอี ได้โค้ดดังนี้

บรรทัดที่ 1-25

```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import sqlite3
4 import datetime
5 conn = sqlite3.connect('RNGnumberdatabase.db')
6 cpi = conn.cursor()
7 cphi = conn.cursor()
8 ce = conn.cursor()
9 cpi.execute("DELETE FROM rngtime_pi")
10 cphi.execute("DELETE FROM rngtime_phi")
11 ce.execute("DELETE FROM rngtime_e")
12 xpiread = open('pi.txt','r')
13 piread = xpiread.read()
14 xphiread = open('phi.txt','r')
15 phiread = xphiread.read()
16 xeread = open('e.txt','r')
17 eread = xeread.read()
18 eread = eread.replace(' ','').replace('\n','')
19 piread = str(piread[:10000])
20 phiread = str(phiread[:10000])
21 eread = str(eread[:10000])
22 pireadarray = []
23 phireadarray = []
24 ereadarray = []
25 random = np.random
```

ภาพที่ 4.1 โค้ดบรรทัดที่ 1-25 บนโปรแกรม Visual studio code

บรรทัดที่ 26-71

```

26 ✓ for pi in range(len(piread)):
27     pireadarray.append(int(piread[pi]))
28     pireadarray = np.array(pireadarray)
29 ✓ for phi in range(len(phiread)):
30     phireadarray.append(int(phiread[phi]))
31     phireadarray = np.array(phireadarray)
32 ✓ for e in range(len(eread)):
33     ereadarray.append(int(eread[e]))
34     ereadarray = np.array(ereadarray)
35     sett = []
36     percentpi = []
37     percentphi = []
38     percente = []
39     irange = np.arange(len(pireadarray))[1000:len(pireadarray)-1000]
40     rirange = irange * -1
41     i = 1
42 ✓ while i != 1001 :
43     rngstart = random.randint(1,len(pireadarray),1)
44     ichoose = np.asscalar(np.random.choice(np.concatenate((irange,rirange),axis =None)))
45     rngend = ichoose
46     nrange = np.absolute(rngend-rngstart)
47     sett.append(nrange)
48     evenpi = []
49     oddpi = []
50     evenphi = []
51     oddphi = []
52     evene = []
53     odde = []
54     truerngpi = pireadarray[rngstart[0]:rngend]
55     truerngphi = phireadarray[rngstart[0]:rngend]
56     truernge = ereadarray[rngstart[0]:rngend]
57 ✓     for pi in range(len(truerngpi)):
58 ✓         if truerngpi[pi] % 2 == 0 :
59             evenpi.append(truerngpi[pi])
60 ✓         elif truerngpi[pi] % 2 == 1 :
61             oddpi.append(truerngpi[pi])
62 ✓     for phi in range(len(truerngphi)):
63 ✓         if truerngphi[phi] % 2 == 0 :
64             evenphi.append(truerngphi[phi])
65 ✓         elif truerngphi[phi] % 2 == 1 :
66             oddphi.append(truerngphi[phi])
67 ✓     for e in range(len(truernge)):
68 ✓         if truernge[e] % 2 == 0 :
69             evene.append(truernge[e])
70 ✓         elif truernge[e] % 2 == 1 :
71             odde.append(truernge[e])

```

ภาพที่ 4.2 โค้ดบรรทัดที่ 26-71 บนโปรแกรม Visual studio code

บรรทัดที่ 72-104

```

72     try :
73         perpi = len(oddpi)/(len(oddpi)+len(evenpi))
74         percentpi.append(perpi)
75         perphi = len(oddphe)/(len(oddphe)+len(evenphi))
76         percentphi.append(perphi)
77         pere = len(odde)/(len(odde)+len(evene))
78         percente.append(pere)
79         tf_check = True
80     except ZeroDivisionError :
81         tf_check = False
82     if tf_check == True :
83         insert = [datetime.datetime.now(),i,perpi,1-perpi]
84         cpi.execute("INSERT INTO rngtime_pi VALUES(?,?,?,?)",insert)
85         insert = [datetime.datetime.now(),i,perphi,1-perphi]
86         cphi.execute("INSERT INTO rngtime_phi VALUES(?,?,?,?)",insert)
87         insert = [datetime.datetime.now(),i,pere,1-pere]
88         ce.execute("INSERT INTO rngtime_e VALUES(?,?,?,?)",insert)
89         i = i + 1
90     print(sum(percentpi)/len(percentpi))
91     npi= 0.5-(sum(percentpi)/len(percentpi))
92     print(npi)
93     print(sum(percentphi)/len(percentphi))
94     nphi= 0.5-(sum(percentphi)/len(percentphi))
95     print(nphi)
96     print(sum(percente)/len(percente))
97     ne= 0.5-(sum(percente)/len(percente))
98     print(ne)
99     conn.commit()
100    conn.close()
101    plt.scatter(np.arange(len(percentpi))+1,percentpi,alpha=1,s=3,c="r")
102    plt.scatter(np.arange(len(percentphi))+1,percentphi,alpha=1,s=3,c="g")
103    plt.scatter(np.arange(len(percente))+1,percente,alpha=1,s=3,c="b")
104    plt.show()

```

ภาพที่ 4.3 โค้ดบรรทัดที่ 72-104 บนโปรแกรม Visual studio code

4.2 ผลการคำนวณ และการทำงานของโปรแกรม

จากการคำนวณและการทำงานของโปรแกรมบน Visual code studio ได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.4 และได้กราฟผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.5 ดังนี้

```

PROBLEMS OUTPUT TERMINAL DEBUG CONSOLE
Try the new cross-platform PowerShell https://aka.ms/pscore6

PS C:\Users\USER\Desktop\RNNumber> & C:/Users/USER/AppData/Local/Programs/Python/Python38/python.exe c:/Users/USER/Desktop/RNNumber/RNNumber.py
[1 4 1 ... 6 7 8]
[6 1 8 ... 8 0 3]
[7 1 8 ... 7 8 8]
c:/Users/USER/Desktop/RNNumber/RNNumber.py:52: DeprecationWarning: np.asscalar(a) is deprecated since NumPy v1.16, use a.item() instead
  ichoose = np.asscalar(np.random.choice(np.concatenate((lrange, rrange), axis = None)))
0.5078803632850211
0.5141067168440635
0.5016535966561281

```

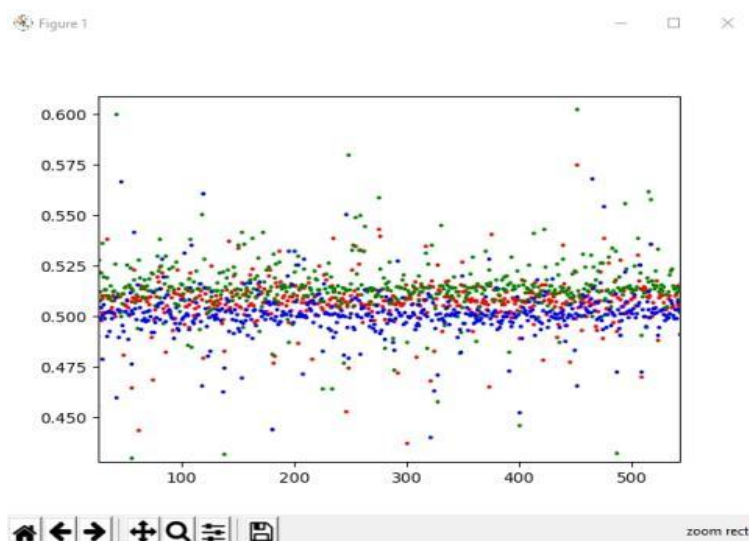
ภาพที่ 4.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมบน Visual code studio

โดยผลลัพธ์ค่าความน่าจะเป็นในการออกเลขสี่ของค่าอัตราส่วนของค่าพาย ค่าอัตราส่วนทองคำ และค่าอี คือ

ค่าพาย มีค่าเท่ากับ 0.5078803632850211

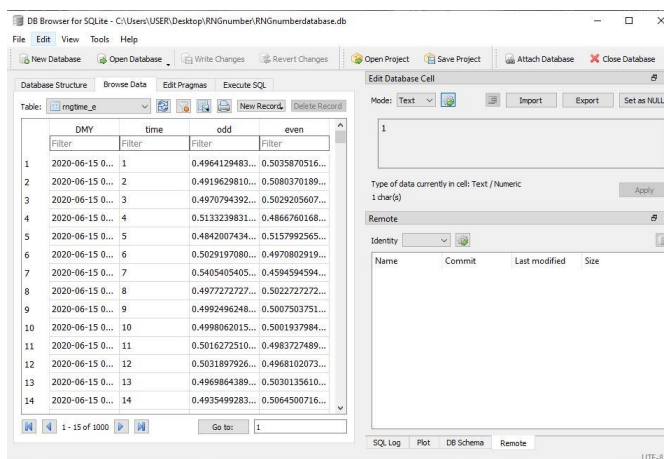
ค่าอัตราส่วนทองคำ มีค่าเท่ากับ 0.5141067168440635

ค่าอี มีค่าเท่ากับ 0.5016535966561281



ภาพที่ 4.5 ผลลัพธ์ที่แสดงออกมาในรูปกราฟ

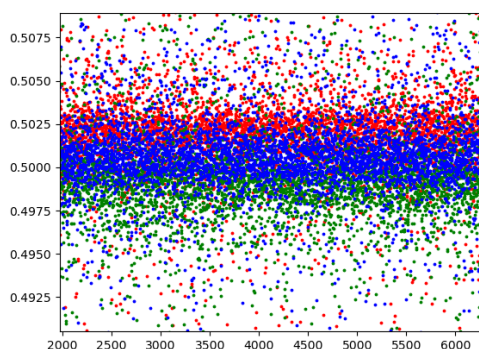
โดยข้อมูลของการทำงานของโปรแกรม จะถูกเก็บไว้ใน DB Browser (SQLite) เพื่อให้สามารถเรียกดูผลการดำเนินงานได้อย่างถูกต้อง โดยกำหนดให้ time คือ เวลาในการบันทึกข้อมูล odd คือ อัตราส่วนของจำนวนคี่ และ even คือ อัตราส่วนของจำนวนคู่



ภาพที่ 4.6 การจัดเก็บข้อมูลจากการทำงานของโปรแกรม

4.3 ผลการดำเนินงาน

จากการรวบรวมผลการดำเนินงานของการคำนวณของโปรแกรมเพื่อหาอัตราส่วนของจำนวนคี่ต่อจำนวนคู่ในเลขทศนิยมของค่าต่าง ๆ ได้ผลลัพธ์ นำมาทำเป็นตารางและกราฟแบบจุด โดยกำหนดให้ จุดสีแดงคือค่าพาย จุดสีเขียวคือค่าอัตราส่วนทองคำ และจุดสีน้ำเงินคือค่าอี



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงผลลัพธ์จากการกำหนดเลขทศนิยม 100,000 ตำแหน่งและทำ 10,000 ครั้ง

ตารางที่ 4.1 ผลการสุ่มโดยใช้ตำแหน่งของเลขทศนิยมจำนวน 10,000 ตำแหน่ง

ค่าคงที่ \ จำนวนทศนิยม รอบ	10,000		
	1,000	10,000	100,000
π	0.50677740284338	0.50793765966027	0.50752856783443
φ	0.51351100685749	0.51338254753455	0.51335728234001
e	0.50037828946864	0.50052355982253	0.50068125943786

ตารางที่ 4.2 ผลการสุ่มโดยใช้เลขทศนิยมจำนวน 100,000 ตำแหน่ง

ค่าคงที่ \ จำนวนทศนิยม รอบ	100,000		
	1,000	10,000	100,000
π	0.50173670622538	0.50198570142458	0.50197346048225
φ	0.49975310177572	0.49943547277271	0.49946929065806
e	0.50044458312645	0.50093473806360	0.50076511357849

บทที่ 5

ผลการทดลอง

การทำโครงงานเรื่อง การศึกษาความเป็นกลางของจำนวนคู่และคี่โดยการใช้เลขทศนิยมของ ค่าพาย ค่าอัตราส่วนทองคำ และค่าอี คณะผู้จัดทำได้สรุปผลการทดลอง อภิปรายผล และ ข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ว่า การที่ยิ่งใช้ตำแหน่งเลขทศนิยมมากขึ้น จะทำให้ยิ่งมีข้อมูลที่ น่าเชื่อถือมากขึ้น ทำให้บางค่ามีผลที่เปลี่ยนไปจากเดิมอย่างเห็นได้ชัดเจน แต่ในขณะที่ใช้จำนวน รอบในการทำซ้ำมากขึ้น จะทำให้ข้อมูลแต่ละค่ามีผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน ในที่นี้ขอยกตัวอย่าง ค่าอัตราส่วนทองคำ พิจารณาตำแหน่งทศนิยม หากใช้ตำแหน่งทศนิยมจำนวน 10,000 ตำแหน่ง 100,000 รอบ จะทำให้ความน่าจะเป็นในการออกเลขคี่ มีค่าเท่ากับ 0.5133572823400145 แต่หาก ใช้ตำแหน่งทศนิยมจำนวน 100,000 ตำแหน่ง 100,000 รอบ จะทำให้ความน่าจะเป็นในการออก เลขคี่ มีค่าเท่ากับ 0.49946929065806145 ซึ่งหากดูผลลัพธ์ 1,000 รอบและ 10,000 รอบ จะได้ผลลัพธ์ที่คล้ายกัน พิจารณาจำนวนรอบ หากใช้ตำแหน่งทศนิยมจำนวน 100,000 ตำแหน่ง 10,000 รอบ จะทำให้ความน่าจะเป็นในการออกเลขคี่ มีค่าเท่ากับ 0.49943547277271055 แต่หาก ใช้ตำแหน่งทศนิยมจำนวน 100,000 ตำแหน่ง 100,000 รอบ จะทำให้ความน่าจะเป็นในการออก เลขคี่ มีค่าเท่ากับ 0.49946929065806145 ซึ่งหากดูผลลัพธ์ 10,000 ตำแหน่ง จะได้ผลลัพธ์ที่ คล้ายกัน

หากพิจารณาในการใช้ทศนิยม 10,000 ตำแหน่ง ในการเปรียบเทียบค่าพาย ค่าอัตราส่วน ทองคำ และค่าอี ความน่าจะเป็นในการออกเลขคี่ของค่าพาย มีค่าเท่ากับ 0.507528567834428 ความน่าจะเป็นในการออกเลขคี่ของค่าอัตราส่วนทองคำ มีค่าเท่ากับ 0.5133572823400145 ความน่าจะเป็นในการออกเลขคี่ของอี มีค่าเท่ากับ 0.5006812594378615

หากพิจารณาในการใช้ทศนิยม 100,000 ตำแหน่ง ในการเปรียบเทียบค่าพาย ค่าอัตราส่วน ทองคำ และค่าอี ความน่าจะเป็นในการออกเลขคี่ของค่าพาย มีค่าเท่ากับ 0.501973460482447 ความน่าจะเป็นในการออกเลขคี่ของค่าอัตราส่วนทองคำ มีค่าเท่ากับ 0.49946929065806145 ความน่าจะเป็นในการออกเลขคี่ของค่าอีมีค่าเท่ากับ 0.5007651135784907

5.2 อภิปรายผลการทดลอง

หากพิจารณาการใช้ทศนิยม 10,000 ตำแหน่ง 100,000 รอบ ในการเปรียบเทียบค่าพาย ค่าอัตราส่วนทองคำ และค่าลอการิทึมธรรมชาติ ความน่าจะเป็นในการออกเลขคี่ของค่าพาย มีค่าเท่ากับ 0.50752856783443 ซึ่งห่างกับความน่าจะเป็นที่คาดหวังไว้คือ 0.5 เท่ากับ 0.00752856783443 ผลลัพธ์เปอร์เซ็นต์ความไม่แน่นอนเท่ากับ 1.50571356688600 ความน่าจะเป็นในการออกเลขคี่ของค่าอัตราส่วนทองคำ มีค่าเท่ากับ 0.51335728234001 ซึ่งห่างจากความน่าจะเป็นที่คาดหวังไว้คือ 0.5 เท่ากับ 0.01335728234001 ผลลัพธ์เปอร์เซ็นต์ความไม่แน่นอนเท่ากับ 2.67145646800200 ความน่าจะเป็นในการออกเลขคี่ของค่าอี มีค่าเท่ากับ 0.50068125943786 ซึ่งห่างจากความน่าจะเป็นที่คาดหวังไว้คือ 0.5 เท่ากับ 0.00068125943786 ผลลัพธ์เปอร์เซ็นต์ความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.13625188757200

หากพิจารณาการใช้ทศนิยม 100,000 ตำแหน่ง 100,000 รอบ ในการเปรียบเทียบค่าพาย ค่าอัตราส่วนทองคำ และค่าลอการิทึมธรรมชาติ ความน่าจะเป็นในการออกเลขคี่ของค่าพาย มีค่าเท่ากับ 0.50197346048245 ซึ่งห่างจากความน่าจะเป็นที่คาดหวังไว้คือ 0.5 เท่ากับ 0.00197346048245 ผลลัพธ์เปอร์เซ็นต์ความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.39469209649000 ความน่าจะเป็นในการออกเลขคี่ของค่าอัตราส่วนทองคำ มีค่าเท่ากับ 0.49946929065806 ซึ่งห่างจากความน่าจะเป็นที่คาดหวังไว้คือ 0.5 เท่ากับ 0.00053070934194 ผลลัพธ์เปอร์เซ็นต์ความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.10414186838800 ความน่าจะเป็นในการออกเลขคี่ของค่าอี มีค่าเท่ากับ 0.50076511357849 ซึ่งห่างจากความน่าจะเป็นที่คาดหวังไว้คือ 0.5 เท่ากับ 0.00076511357849 ผลลัพธ์เปอร์เซ็นต์ความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.15302271569800

หลังจากที่ทราบผลลัพธ์เปอร์เซ็นต์ความไม่แน่นอนจากการใช้ทศนิยม 10,000 ตำแหน่ง 100,000 รอบ แล้ว แสดงให้เห็นว่า ค่าอีมีความเป็นกลางมากที่สุด ตามด้วยค่าพาย และค่าอัตราส่วนทองคำตามลำดับ และผลลัพธ์เปอร์เซ็นต์ความไม่แน่นอนจากการใช้ทศนิยม 100,000 ตำแหน่ง 100,000 รอบ แสดงให้เห็นว่า ค่าอัตราส่วนทองคำมีความเป็นกลางมากที่สุด ตามด้วยอี และค่าพายตามลำดับ

5.3 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

จากการศึกษาพบว่าหากใช้จำนวนตำแหน่งเลขทศนิยมที่ต่างกันแล้วอาจส่งผลให้ความน่าจะเป็นในการสุ่มเลขคู่ เลขคี่ ต่างออกไปจากเดิมดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงคาดว่าหากใช้จำนวนตำแหน่งของเลขทศนิยมที่มากขึ้นผลที่ได้อาจจะมีความแม่นยำที่มากขึ้นและมีผลความน่าจะเป็นที่ต่างออกไปจากเดิม

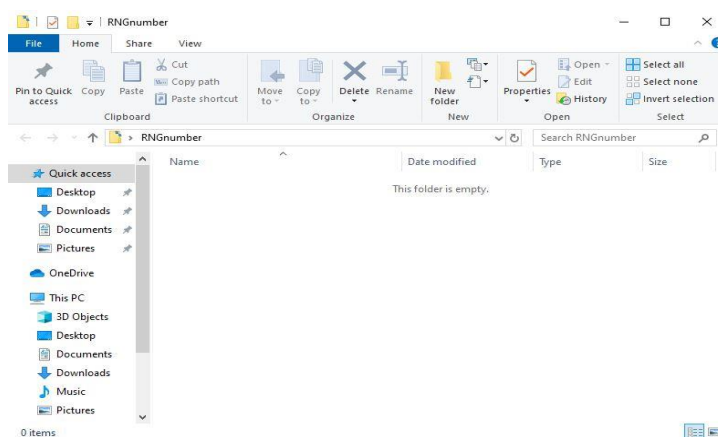
การสุ่มภายในคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องที่เป็นการสุ่มอย่างแท้จริงจะมีวิธีการสุ่มที่ต่างกันตามโปรแกรมที่ถูกตั้งค่ามาตั้งแต่ขั้นตอนการผลิต ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงไม่สามารถศึกษาเพื่อยืนยันได้ว่าการสุ่มภายในคอมพิวเตอร์เป็นการสุ่มแท้มากน้อยเพียงใด แต่จะนำการสุ่มภายในคอมพิวเตอร์มาใช้สร้างเลขสุ่มเทียมในการดำเนินงานการทำโครงการ

เอกสารอ้างอิง

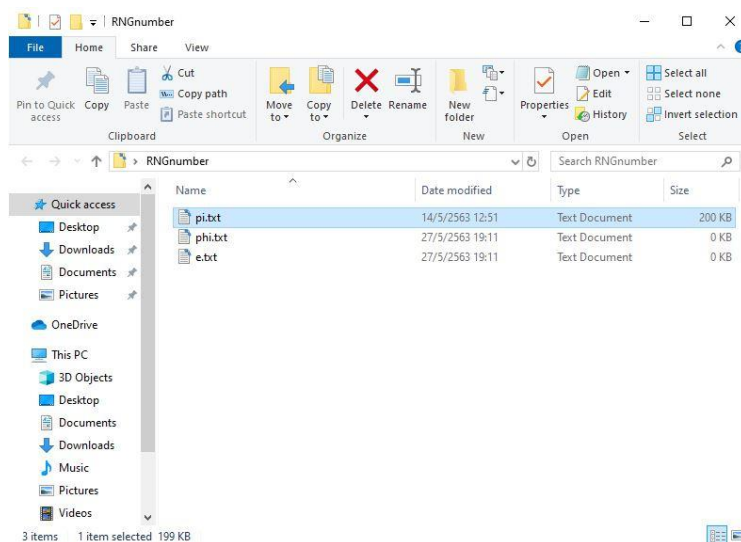
- [1] gotoknow. (2563). จำนวนและตัวเลข (ออนไลน์). สืบค้นจาก :
<https://www.gotoknow.org/posts/196816>
- [2] Ilya Rogers, Greg Harrell, and Jin Wang. (2015). Using pi digits to Generate Random Numbers: A Visual and Statistical Analysis. Proceedings of the International Conference on Scientific Computing (CSC), Athene, 27-30 July 2015. pp. 251-257
- [3] Eve Andersson. (2562). Frequency of Each Digit of Pi (ออนไลน์). สืบค้นจาก :
<http://www.eveandersson.com/pi/precalculated-frequencies> [24 ธันวาคม 2562]
- [4] Nerd Paradise. (2562). 10,000 digits of phi (golden ratio) (ออนไลน์). สืบค้นจาก :
<https://nerdparadise.com/math/reference/phi10000> [24 ธันวาคม 2562]
- [5] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) กระทรวงศึกษาธิการ. พาย (Pi, π) สูตรคณิตศาสตร์มหัศจรรย์ (ออนไลน์). 924 ถนนสุขุมวิท แขวงพระโขนง เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10110 : พรรณพร กะตะจิตต์, 2561. แหล่งที่มา : <https://www.scimath.org> [16 พฤษภาคม 2563]
- [6] วิกีพีเดีย. (2561). อัตราส่วนของค่า (ออนไลน์). สืบค้นจาก :
<https://th.wikipedia.org/wiki> [16 พฤษภาคม 2563]
- [7] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) กระทรวงศึกษาธิการ. (2562) หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 2. จำนวน 150,000 เล่ม. ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [8] วิกีพีเดีย. (2563). ค่าพาย (ออนไลน์). สืบค้นจาก :
<https://th.wikipedia.org/wiki> [16 พฤษภาคม 2563]
- [9] วิกีพีเดีย. (2558). อัตราส่วนของค่า (ออนไลน์). สืบค้นจาก :
<https://th.wikipedia.org/wiki> [16 พฤษภาคม 2563]
- [10] วิกีพีเดีย. (2563). ค่า e (ออนไลน์). สืบค้นจาก :
<https://th.wikipedia.org/wiki> [16 พฤษภาคม 2563]
- [11] วิกีพีเดีย. (2563). ความน่าจะเป็น (ออนไลน์). สืบค้นจาก :
<https://th.wikipedia.org/wiki> [16 พฤษภาคม 2563]

- [12] วิกิพีเดีย. (2561). ทฤษฎีความน่าจะเป็น (ออนไลน์). สืบค้นจาก :
<https://th.wikipedia.org/wiki> [16 พฤษภาคม 2563]
- [13] โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว.
 ความน่าจะเป็น (ออนไลน์). สนามเสือป่า ถนนศรีอยุธยา เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10130.
 แหล่งที่มา : <http://saranukromthai.or.th/sub/other> [16 พฤษภาคม 2563]
- [14] วิกิพีเดีย. (2562). ตัวสร้างเลขสุ่มเทียม (ออนไลน์). สืบค้นจาก :
<https://th.wikipedia.org/wiki> [16 พฤษภาคม 2563]
- [15] Elaine Barker et al. (2012), Recommendation for Key Management. National
 Institute of Standards and Technology. Reversion3.
- [16] Khan academy. (2012). Pseudorandom number generators (ออนไลน์). USA :
 Khan academy. แหล่งที่มา : <https://www.khanacademy.org>
- [17] John Von Neumann. (1951). “Various techniques used in connection with
 random digits” (PDF) in National Bureau of Standards Applied Mathematics
 Series. ครั้งที่พิมพ์ 12. Washington, D.C. USA : U.S. Government Printing Office
- [18] Yasumasa Kanada. (2003). The distribution of the number of times different
 digits appear in the first trillion digits of pi.

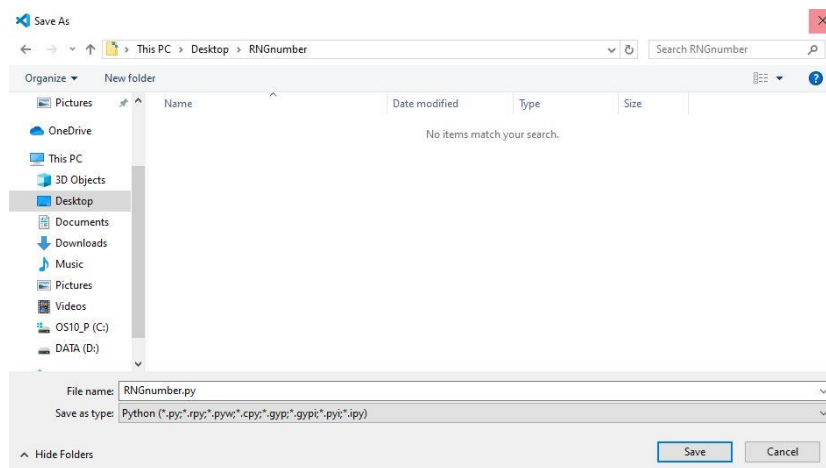
ภาคผนวก



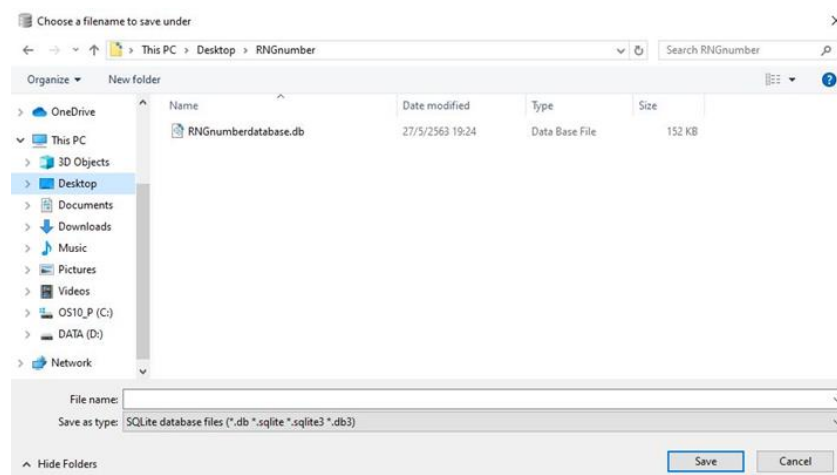
ภาพวิธีการสร้าง folder



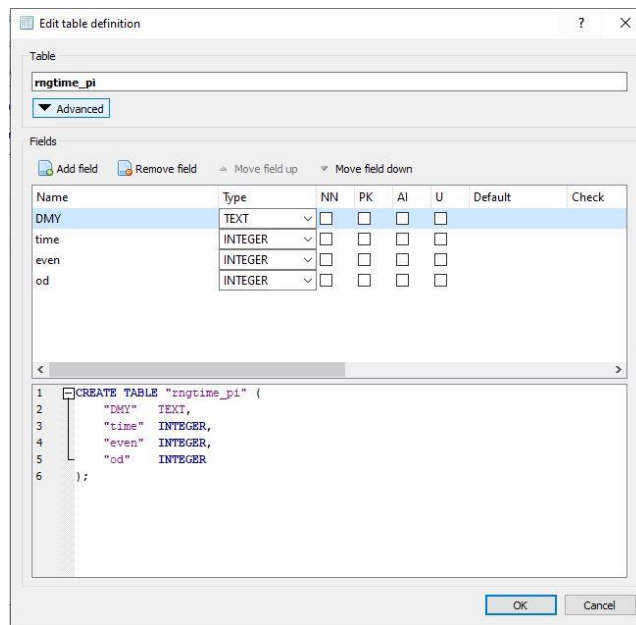
ภาพวิธีการเตรียมข้อมูลเลขทศนิยมของค่าพาย ค่าอัตราส่วนทองคำ และค่าอี



ภาพวิธีการเตรียมโปรแกรม Visual studio code



ภาพวิธีการเตรียมโปรแกรม DB Browser (SQLite)



ภาพวิธีการตั้งค่า table

```

1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import sqlite3
4 import datetime

```

ภาพบรรทัดที่ 1-4 การนำเข้าโมดูล

```

5 conn = sqlite3.connect('RNGnumberdatabase.db')
6 cpi = conn.cursor()
7 cphi = conn.cursor()
8 ce = conn.cursor()
9 cpi.execute("DELETE FROM rngtime_pi")
10 cphi.execute("DELETE FROM rngtime_phi")
11 ce.execute("DELETE FROM rngtime_e")

```

ภาพการเชื่อมต่อระหว่าง python กับโปรแกรม DB Browser


```

12 xpiread = open('pi.txt','r')
13 piread = xpiread.read()
14 xphiread = open('phi.txt','r')
15 phiread = xphiread.read()
16 xeread = open('e.txt','r')
17 eread = xeread.read()
18 eread = eread.replace(' ','').replace('\n','')

```

ภาพการอ่านตัวเลขทศนิยมของค่า pi phi และ e

```

19 piread = str(piread[:10000])
20 phiread = str(phiread[:10000])
21 eread = str(eread[:10000])
22 pireadarray = []
23 phireadarray = []
24 ereadarray = []

```

ภาพการเก็บค่า pi phi และ e ในรูปแบบของตัวอักษร

```

25 random = np.random
26 for pi in range(len(piread)):
27     |   pireadarray.append(int(piread[pi]))
28     |   pireadarray = np.array(pireadarray)
29     |   for phi in range(len(phiread)):
30         |       phireadarray.append(int(phiread[phi]))
31         |       phireadarray = np.array(phireadarray)
32         |       for e in range(len(eread)):
33             |           ereadarray.append(int(eread[e]))
34         |           ereadarray = np.array(ereadarray)

```

ภาพการใช้ loop for เพื่อเก็บค่าทศนิยม

```

35 sett = []
36 percentpi = []
37 percentphi = []
38 percente = []

```

ภาพการสร้าง list

```

39 irange = np.arange(len(pireadarray))[1000:len(pireadarray)-1000]
40 rirange = irange * -1

```

ภาพการหาช่วงที่ใช้ในการสุ่ม

```

41 i = 1
42 while i != 1001 :
43     rngstart = random.randint(1,len(pireadarray),1)
44     ichoose = np.asscalar(np.random.choice(np.concatenate((irange,rirange),axis =None)))
45     rngend = ichoose
46     nrange = np.absolute(rngend-rngstart)
47     sett.append(nrange)
48     evenpi = []
49     oddpi = []
50     evenphi = []
51     oddphi = []
52     evene = []
53     odde = []
54     truerngpi = pireadarray[rngstart[0]:rngend]
55     truerngphi = phireadarray[rngstart[0]:rngend]
56     truernge = ereadarray[rngstart[0]:rngend]
57     for pi in range(len(truerngpi)):
58         if truerngpi[pi] % 2 == 0 :
59             evenpi.append(truerngpi[pi])
60         elif truerngpi[pi] % 2 == 1 :
61             oddpi.append(truerngpi[pi])
62     for phi in range(len(truerngphi)):
63         if truerngphi[phi] % 2 == 0 :
64             evenphi.append(truerngphi[phi])
65         elif truerngphi[phi] % 2 == 1 :
66             oddphi.append(truerngphi[phi])
67     for e in range(len(truernge)):
68         if truernge[e] % 2 == 0 :
69             evene.append(truernge[e])
70         elif truernge[e] % 2 == 1 :
71             odde.append(truernge[e])
72     try :
73         perpi = len(oddpi)/(len(oddpi)+len(evenpi))
74         percentpi.append(perpi)
75         perphi = len(oddphi)/(len(oddphi)+len(evenphi))
76         percentphi.append(perphi)
77         pere = len(odde)/(len(odde)+len(evene))
78         percente.append(pere)
79         tf_check = True
80     except ZeroDivisionError :
81         tf_check = False
82     if tf_check == True :
83         insert = [datetime.datetime.now(),i,perpi,1-perpi]
84         cpi.execute("INSERT INTO rngtime_pi VALUES(?,?,?,?)",insert)
85         insert = [datetime.datetime.now(),i,perphi,1-perphi]
86         cphi.execute("INSERT INTO rngtime_phi VALUES(?,?,?,?)",insert)
87         insert = [datetime.datetime.now(),i,pere,1-pere]
88         ce.execute("INSERT INTO rngtime_e VALUES(?,?,?,?)",insert)
89     i = i + 1

```

ภาพการใช้ loop while เพื่อใช้ในการสุ่มหาช่วงของตำแหน่งทศนิยมและนับจำนวนคู่คี่

```

43 rngstart = random.randint(1,len(pireadarray),1)
44 ichoose = np.asscalar(np.random.choice(np.concatenate((irange,rirange),axis =None)))
45 rngend = ichoose
46 nrange = np.absolute(rngend-rngstart)
47 sett.append(nrange)
48 evenpi = []
49 oddpi = []
50 evenphi = []
51 oddphi = []
52 evene = []
53 odde = []
54 truerngpi = pireadarray[rngstart[0]:rngend]
55 truerngphi = phireadarray[rngstart[0]:rngend]
56 truernge = ereadarray[rngstart[0]:rngend]

```

ภาพการใช้ ichoose และ nrange

```

57 for pi in range(len(truerngpi)):
58     if truerngpi[pi] % 2 == 0 :
59         evenpi.append(truerngpi[pi])
60     elif truerngpi[pi] % 2 == 1 :
61         oddpi.append(truerngpi[pi])
62 for phi in range(len(truerngphi)):
63     if truerngphi[phi] % 2 == 0 :
64         evenphi.append(truerngphi[phi])
65     elif truerngphi[phi] % 2 == 1 :
66         oddphi.append(truerngphi[phi])
67 for e in range(len(truernge)):
68     if truernge[e] % 2 == 0 :
69         evene.append(truernge[e])
70     elif truernge[e] % 2 == 1 :
71         odde.append(truernge[e])

```

ภาพการใช้ loop for เพื่อทำการ mod

```

72 try :
73     perpi = len(oddpi)/(len(oddpi)+len(evenpi))
74     percentpi.append(perpi)
75     perphi = len(oddphi)/(len(oddphi)+len(evenphi))
76     percentphi.append(perphi)
77     pere = len(odde)/(len(odde)+len(evene))
78     percente.append(pere)
79     tf_check = True
80 except ZeroDivisionError :
81     tf_check = False
82 if tf_check == True :
83     insert = [datetime.datetime.now(),i,perpi,1-perpi]
84     cpi.execute("INSERT INTO rngtime_pi VALUES(?,?,?,?)",insert)
85     insert = [datetime.datetime.now(),i,perphi,1-perphi]
86     cphi.execute("INSERT INTO rngtime_phi VALUES(?,?,?,?)",insert)
87     insert = [datetime.datetime.now(),i,pere,1-pere]
88     ce.execute("INSERT INTO rngtime_e VALUES(?,?,?,?)",insert)
89     i = i + 1

```

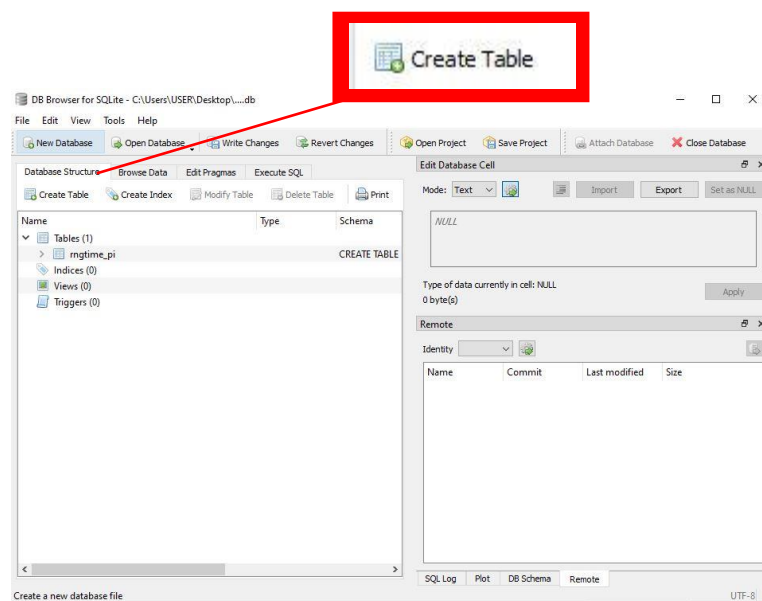
ภาพการใช้ try-except

```

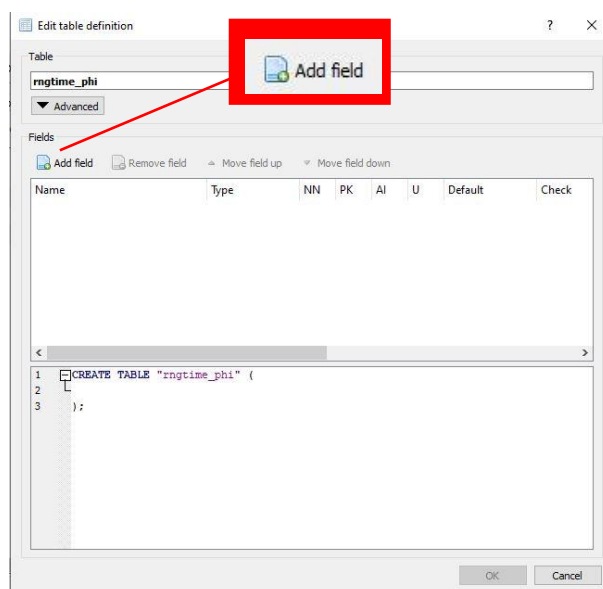
90 print(sum(percentpi)/len(percentpi))
91 print(sum(percentphi)/len(percentphi))
92 print(sum(percente)/len(percente))
93 conn.commit()
94 conn.close()
95 plt.scatter(np.arange(len(percentpi))+1,percentpi,alpha=1,s=3,c="r")
96 plt.scatter(np.arange(len(percentphi))+1,percentphi,alpha=1,s=3,c="g")
97 plt.scatter(np.arange(len(percente))+1,percente,alpha=1,s=3,c="b")
98 plt.show()

```

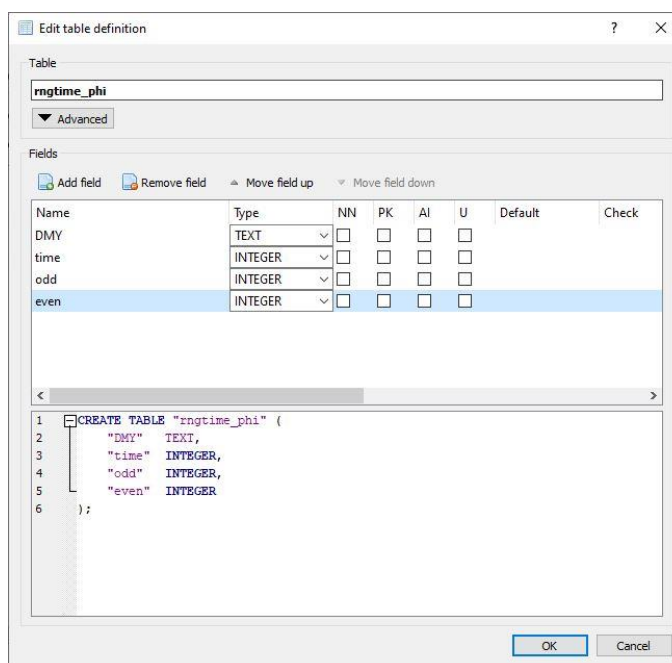
ภาพการแสดงค่าอัตราส่วนที่ออกเป็นคี่และแสดงผลเป็นกราฟจุด



ภาพการสร้าง table ของค่า phi และ e



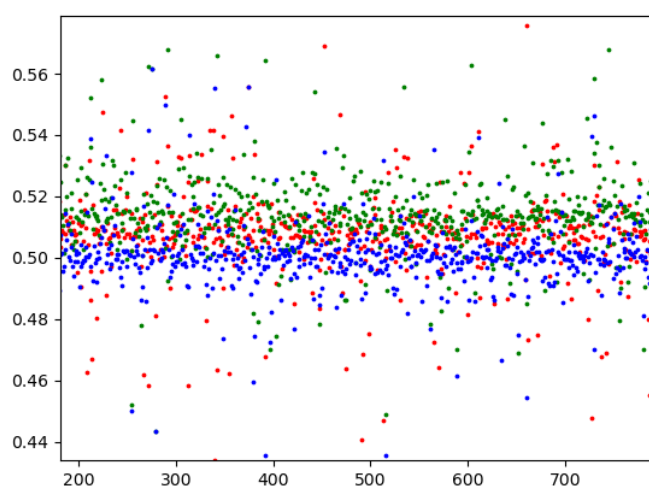
ภาพการเพิ่ม field ของทั้ง 2 table



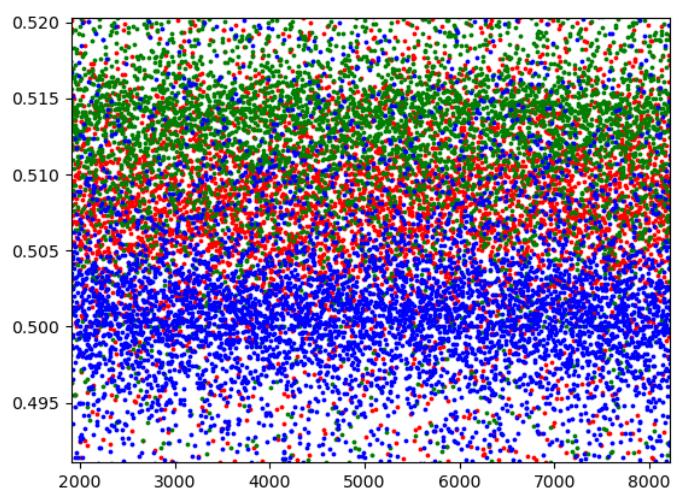
ภาพการตั้งชื่อวันที่ เวลา อัตราที่เป็นคี่ และอัตราที่เป็นคู่

ตารางแสดงผลการสุ่มโดยใช้ตำแหน่งของเลขทศนิยมจำนวน 10,000 ตำแหน่ง

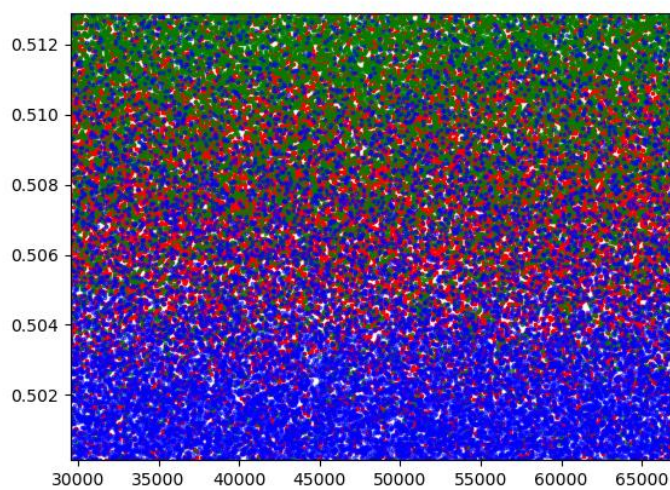
ค่าคงที่ \ จำนวนทศนิยม	10,000		
	รอบ	1,000	10,000
π		0.50677740284338	0.50793765966027
φ		0.51351100685749	0.51338254753455
e		0.50037828946864	0.50052355982253



ภาพกราฟแสดงผลสุ่มจากการกำหนดเลขทศนิยม 10,000 ตำแหน่งและทำ 1,000 ครั้ง



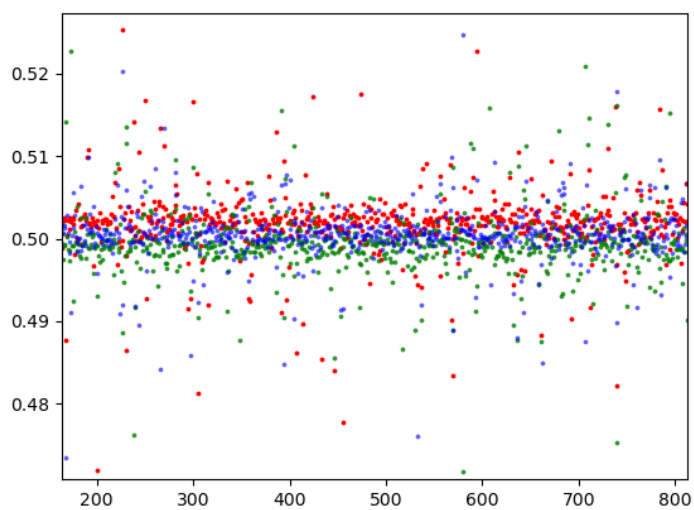
ภาพกราฟแสดงผลจากการกำหนดเลขทศนิยม 10,000 ตำแหน่งและทำ 10,000 ครั้ง



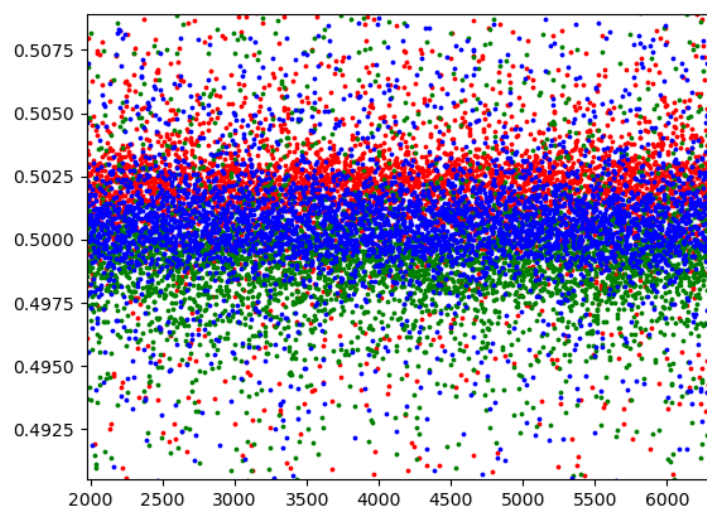
ภาพกราฟแสดงผลจากการกำหนดเลขทศนิยม 10,000 ตำแหน่งและทำ 100,000 ครั้ง

ตารางแสดงผลการสุ่มโดยใช้เลขทศนิยมจำนวน 100,000 ตำแหน่ง

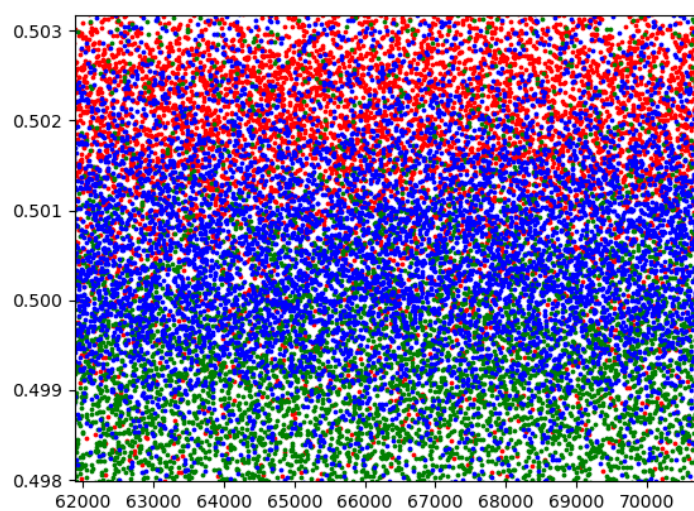
ค่าคงที่	จำนวนทศนิยม	100,000		
	รอบ	1,000	10,000	100,000
π		0.50173670622538	0.50198570142458	0.50197346048225
φ		0.49975310177572	0.49943547277271	0.49946929065806
e		0.50044458312645	0.50093473806360	0.50076511357849



ภาพกราฟแสดงผลลัพธ์จากการกำหนดเลขทศนิยม 100,000 ตำแหน่งและทำ 1,000 ครั้ง



ภาพกราฟแสดงผลจากการกำหนดเลขทศนิยม 100,000 ตำแหน่งและทำ 10,000 ครั้ง



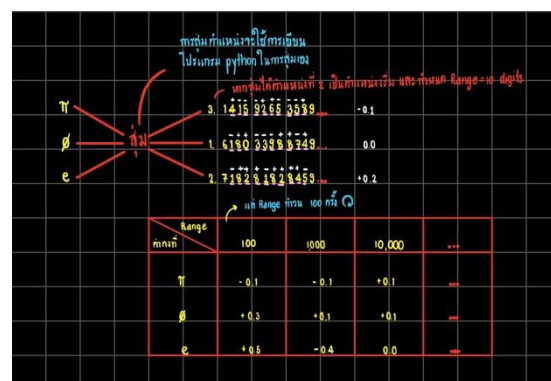
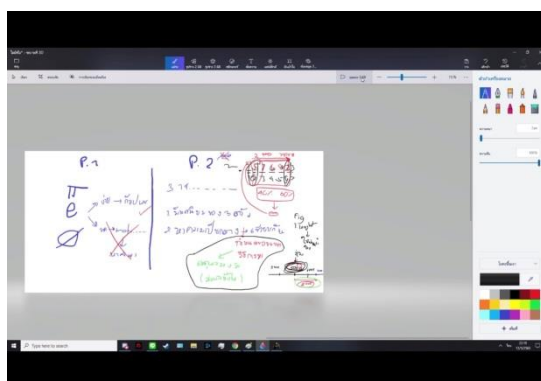
ภาพกราฟแสดงผลจากการกำหนดเลขทศนิยม 100,000 ตำแหน่งและทำ 100,000 ครั้ง

ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความไม่เป็นกลางจากผลการสุ่มโดยใช้เลขทศนิยมจำนวน 10,000
ตำแหน่ง

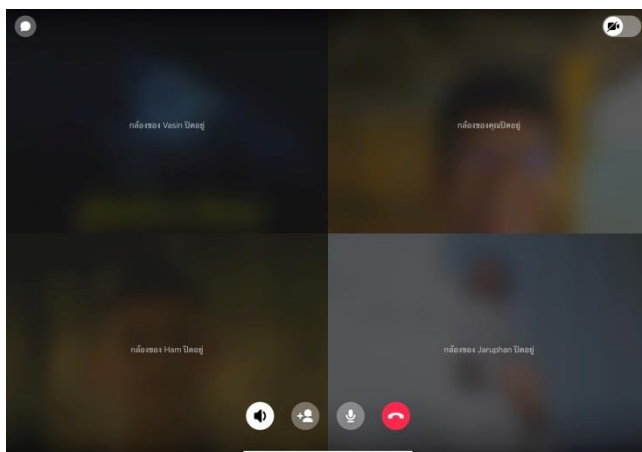
ค่าคงที่ \ จำนวนทศนิยม รอบ	10,000		
	1,000	10,000	100,000
π	1.35548056867600	1.58753193205400	1.50571356688600
φ	2.70220137149800	2.67650950691000	2.67145646800200
e	0.07565789372800	0.10471196450600	0.13625188757200

ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความไม่เป็นกลางจากผลการสุ่มโดยใช้เลขทศนิยมจำนวน 100,000
ตำแหน่ง

ค่าคงที่ \ จำนวนทศนิยม รอบ	100,000		
	1,000	10,000	100,000
π	0.34734124507600	0.39714028491600	0.39469209649000
φ	0.04937964485560	0.11290544545800	0.10614186838800
e	0.08891662529000	0.18694761272000	0.15302271569800



ภาพแสดงการประชุมสมาชิกภายในกลุ่มพร้อมทั้งแนวทางในการดำเนินงาน



ภาพแสดงการประชุมสมาชิกภายในกลุ่มพร้อมนำเสนอแนวทางในการดำเนินงานต่อครูประจำวิชา