



สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร
Naresuan University Publishing House

ทฤษฎีการคำนวณ
รูปแบบการคำนวณและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

THEORY OF COMPUTATION

Computation Models and Related Theories

พงศ์พันธ์ กิจสนาโยธิน

ทฤษฎีการคำนวณ

รูปแบบการคำนวณและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

พงศ์พันธ์ กิจสนาโยธิน



สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร
Naresuan University Publishing House
www.nupress.grad.nu.ac.th

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

National Library of Thailand Cataloging in Publication Data

พงศ์พันธ์ กิจสนาโยธิน.

ทฤษฎีการคำนวณ รูปแบบการคำนวณและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง-- พิชญโลก : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2561
210 หน้า.

1. ทฤษฎีเครื่องจักรคำนวณ. 2. การคำนวณของคอมพิวเตอร์. I. ชื่อเรื่อง.

005.131

ISBN 978-616-426-089-4

ISBN (e-book) 978-616-426-090-0

สพท. 43

ราคา 230 บาท

พิมพ์ครั้งที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2561 จำนวนพิมพ์ 300 เล่ม



สงวนลิขสิทธิ์ ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร ห้ามการลอกเลียนไม่ว่าส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้
ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร เท่านั้น

ผู้จัดพิมพ์ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร

มีวางจำหน่ายที่ 1. ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารวิทยกิตติ์ ชั้น 14 ซอยจุฬาลงกรณ์ 64 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่
เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

สาขา ศาลาพระเกียรติ กรุงเทพฯ โทร. 0-2218-7000-3

สยามสแควร์ กรุงเทพฯ โทร. 0-2218-9881, 0-2255-4433

มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก โทร. 0-5526-0162-5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา โทร. 044-216131-2

มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี โทร. 0-3839-4855-9

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (ร.จ.ปร.) จังหวัดนครนายก โทร. 037-393-023, 037-393-036

จัดสรรจามจุรี กรุงเทพฯ โทร. 0-2160-5301

รัตนนิสเบศร์ จังหวัดนนทบุรี โทร. 0-2950-5408-9

มหาวิทยาลัยพะเยา โทร. 0-5446-6799, 0-5446-6800

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โทร. 044-922662-3

สาขาย่อยคณะครุศาสตร์จันทบุรี โทร. 0-2218-3979

2. ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อาคารวิทยบริการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถนนงามวงศ์วาน
แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร. 0-2579-0113

3. ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อาคารอเนกประสงค์ ชั้น 1 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ถนนพระจันทร์
แขวงพระบรมมหาราชวัง เขตพระนคร กรุงเทพฯ 10200 โทร. 0-2613-3899, 0-2623-6493

สาขา ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ โทร. 0-5394-4990-1

ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา โทร. 0-7428-2980, 0-74282981

ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา จังหวัดยะลา โทร. 0-7329-9980

4. ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยขอนแก่น 123 หมู่ 16 ถนนมิตรภาพ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000
โทร. 0-4320-2842

5. ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยมหาสารคาม 41/20 ตำบลสามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
โทร. 0-4375-4319

กองบรรณาธิการ กองบรรณาธิการจัดทำเอกสารสิ่งพิมพ์ทางวิชาการของสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร

ออกแบบปก สรญา แสงเย็นพันธ์

พิมพ์ที่ ร้านพิชญโลกดอทคอม 999/2-3 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000 โทร. 055-303132



สำนักพิมพ์นี้เป็นสมาชิกสมาคมผู้จัดพิมพ์
และผู้จำหน่ายหนังสือแห่งประเทศไทย
<http://www.thaibooksociety.com>

กรณีต้องการสั่งซื้อหนังสือปริมาณมาก หรือเข้าชั้นเรียนติดต่อได้ที่
ฝ่ายจัดจำหน่ายสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร

✉ nuph@nu.ac.th

📍 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร

☎ 0 5596 8833-8836

🌐 nu_publishing



คำนำ

ทฤษฎีการคำนวณเป็นหนึ่งในเนื้อหาที่สำคัญของทั้งทางด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์และด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ย้อนกลับไปในช่วงสมัยเริ่มแรกประมาณปีคริสต์ศักราช 1960 ที่มีการนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้งานในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อน ซึ่งต้องใช้เวลานานในการแก้ตัวอย่างเช่น การคำนวณเส้นโคจรของกระสวยอวกาศ การควบคุมการวัด และการส่งข้อมูลทางไกล คำถามที่เกิดขึ้นในสมัยนั้นคือ ปัญหาลักษณะไหนที่ไม่สามารถใช้คอมพิวเตอร์แก้ปัญหาได้ได้มีการนำเสนอรูปแบบการจำลองการคำนวณเพื่ออธิบายการทำงานของคอมพิวเตอร์แล้วได้ใช้รูปแบบการจำลองนั้นในการตอบปัญหาว่าปัญหาใดสามารถแก้ได้หรือแก้ไม่ได้โดยการใช้คอมพิวเตอร์ดังนั้นทฤษฎีการคำนวณจะประกอบไปด้วยเนื้อหาสองส่วนหลักคือ รูปแบบการคำนวณ และความซับซ้อนของการคำนวณ โดยเนื้อหาในส่วนหลังจะกล่าวถึงลักษณะของปัญหาที่แก้ได้และแก้ไม่ได้ความยากง่ายในการแก้ปัญหาเวลาและปริมาณพื้นที่ที่จำเป็นต้องใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งต้องอาศัยรูปแบบจำลองการคำนวณในส่วนแรกในการอธิบาย ดังนั้นเนื้อหาในส่วนหลังจะมีการจัดสอนในระดับบัณฑิตศึกษาในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในหนังสือเล่มนี้จะกล่าวถึง รูปแบบการคำนวณซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องสถานะจำกัด เครื่องสถานะจำกัดแบบด้นลง และเครื่องจักรทัวริง ซึ่งในแต่ละรูปแบบจะมีลักษณะที่เป็นทั้งแบบเชิงกำหนดและเชิงไม่กำหนด การอธิบายความสามารถของแต่ละรูปแบบการคำนวณจะอาศัยการรู้จักภาษา หรือความสามารถในการตรวจสอบการเป็นสมาชิกของคำในภาษา ซึ่งภาษาดังกล่าวจะเป็นภาษาที่อธิบายได้ใน ทฤษฎีภาษารูปนัย (Formal language theory) ซึ่งแบ่งแยกความซับซ้อนของภาษาตามลักษณะและรูปแบบของคำในภาษารูปนัยที่จะกล่าวถึงในเนื้อหาจะประกอบไปด้วย ภาษาพื้นฐาน ภาษาที่ไม่มีบริบท ภาษาที่เครื่องจักรทัวริงรู้จัก และภาษาที่เครื่องจักรทัวริงตัดสินใจไม่ได้



เนื่องจากภาษาเป็นแบบรูปนัย จึงสามารถแสดงในรูปแบบสัญลักษณ์หรือนิพจน์ได้ด้วยอย่าง
ของนิพจน์หรือสัญลักษณ์ในการแสดงแทนภาษาได้แก่นิพจน์พื้นฐาน ไวยากรณ์ที่ไม่มี
บริบท เป็นต้น

หนังสือเล่มนี้จะเน้นความเข้าใจในเรื่องทฤษฎีรูปแบบการคำนวณจึงครอบคลุม
การพิสูจน์ในทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและจำเป็นแทบทุกทฤษฎีจึงเหมาะสำหรับนักศึกษาใน
ระดับปริญญาเพื่อใช้ในการประกอบการเรียนในรายวิชาที่เกี่ยวข้อง สำหรับนักศึกษาใน
ระดับบัณฑิตศึกษาในการเป็นพื้นฐานสำหรับการศึกษาเรื่องทฤษฎีความซับซ้อน และผู้สนใจ
ในการเป็นหนังสืออ้างอิงในการศึกษาและเข้าใจในทฤษฎีการคำนวณ

สารบัญ

บทที่ 1 พื้นฐาน	1
1.1 เซต	1
1.2 ลำดับและคู่ลำดับ	3
1.3 ฟังก์ชันและความสัมพันธ์	6
1.4 กราฟ	7
1.5 คำและภาษา	9
1.6 การอุปนัยเชิงคณิตศาสตร์	10
แบบฝึกหัด	14
บทที่ 2 เครื่องสถานะจำกัด	17
2.1 นิยามพื้นฐานของเครื่องสถานะจำกัด	20
2.2 เครื่องสถานะจำกัดเชิงไม่กำหนด	32
2.3 ภาษาของเครื่องสถานะจำกัดเชิงไม่กำหนด	34
2.4 การเท่ากันของเครื่องสถานะจำกัดเชิงกำหนดและเชิงไม่กำหนด	43
2.5 เครื่องสถานะจำกัดเชิงไม่กำหนดแบบรองรับ ϵ	50
2.6 การเท่ากันของเครื่องสถานะจำกัดเชิงไม่กำหนดทั้งสองประเภท	58
แบบฝึกหัด	66
บทที่ 3 ภาษาพื้นฐาน	67
3.1 นิพจน์พื้นฐาน	68
3.2 การเท่ากันของนิพจน์พื้นฐานและเครื่องสถานะจำกัด	72
3.3 การพิสูจน์ว่าไม่ใช่ภาษาพื้นฐาน	83
3.4 ตัวดำเนินการปิดสำหรับภาษาพื้นฐาน	92
3.5 การตรวจสอบความเท่าเทียมของภาษาพื้นฐาน	95
แบบฝึกหัด	98



บทที่ 4 ภาษาที่ไม่มีบริบท	101
4.1 การแปลงและภาษาของไวยากรณ์.....	104
4.1.1 ลำดับการแปลงของตัวแปรที่ต้องแปลงต่อ	105
4.1.2 ต้นไม้แจงค่า.....	106
4.2 ความสับสนของไวยากรณ์	109
4.3 ไวยากรณ์สำหรับภาษาพื้นฐาน	112
4.4 ไวยากรณ์ที่ไม่มีบริบท.....	119
4.5 รูปแบบการแสดงไวยากรณ์	122
แบบฝึกหัด	130
บทที่ 5 เครื่องสถานะจำกัดแบบด้นลง.....	133
5.1 เครื่องสถานะจำกัดแบบด้นลงเชิงกำหนด.....	133
5.2 เครื่องสถานะจำกัดแบบด้นลงเชิงไม่กำหนด.....	145
5.3 ความเท่าเทียมกันระหว่างไวยากรณ์ที่ไม่มีบริบทกับ เครื่องสถานะจำกัดแบบด้นลง	148
5.4 คุณสมบัติของภาษาที่ไม่มีบริบท.....	160
5.4.1 การไม่เป็นภาษาที่ไม่มีบริบท	160
5.4.2 การตรวจสอบคำในภาษา.....	165
แบบฝึกหัด	171
บทที่ 6 เครื่องจักรทัวริง	173
6.1 การนิยามรูปนัยสำหรับเครื่องจักรทัวริง	174
6.2 ประเภทของเครื่องจักรทัวริง	183
6.3 การนิยามรูปนัยสำหรับกระบวนการแก้ปัญหา.....	194
แบบฝึกหัด	198
บรรณานุกรม.....	199
ดัชนี.....	202

บทที่ 1

พื้นฐาน

เนื้อหาในบทนี้เราจะอธิบายพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ที่จำเป็นในการทำความเข้าใจเนื้อหาในบทต่อ ๆ ไป เรื่องที่จะศึกษาในส่วนนี้จะครอบคลุมในเรื่องของเซต ลำดับและคู่ลำดับ ฟังก์ชัน และความสัมพันธ์ กราฟ คำและภาษา การพิสูจน์ในรูปแบบต่าง ๆ โดยเฉพาะการพิสูจน์แบบอุปนัยเชิงคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการพิสูจน์ทฤษฎีต่อ ๆ ไป

1.1 เซต

เซต คือกลุ่มของสิ่งต่าง ๆ ที่รวมกันเป็นหน่วยเดียวกัน ซึ่งสิ่งที่อยู่ในกลุ่มจะถูกเรียกว่า *สมาชิกของเซต* การแสดงหรืออธิบายเซตมีอยู่ด้วยการสองวิธีที่เป็นมาตรฐาน แบบแรกคือ *แบบแจกแจงสมาชิก* (Roster form หรือ Tabular form) พิจารณาตัวอย่างเซต S ของตัวเลขจำนวนเต็มคู่ที่มากกว่า 2 แต่น้อยกว่า 17 สามารถแสดงแบบแจกแจงสมาชิกได้ดังนี้

$$S = \{4, 6, 8, 10, 12, 14, 16\}$$

แบบที่สองคือ *แบบแสดงนิยาม* (Rule form หรือ Set builder form) ซึ่งจะแสดงเซตในรูปแบบแสดงการเป็นสมาชิกโดยอาศัยนิยามการเป็นสมาชิกแทน สำหรับเซต S สามารถแสดงในรูปแบบแสดงนิยามได้ดังนี้

$$S = \{x \text{ เป็นจำนวนเต็มคู่} \mid 2 < x < 17\}$$



เครื่องหมาย $\in$ และ $\notin$ ใช้ในการแสดงการเป็นสมาชิกและไม่เป็นสมาชิกของวัตถุ ดังนั้นจากตัวอย่างเซต S เราจะได้ว่า $6 \in S$ และ $15 \notin S$ นอกจากนั้นลำดับและจำนวนครั้งของการปรากฏอยู่ในเซตของสมาชิกในเซต ไม่มีผลต่อการอธิบายเซต ตัวอย่างเช่น เซตทั้งสองต่อไปนี้เป็นเซตเดียวกัน

$$\{5, 1, 1, 3, 7\} = \{1, 3, 5, 7\}$$

ซึ่งขนาดของเซตคือจำนวนสมาชิกในเซต จากตัวอย่างของเซต $\{5, 1, 1, 3, 7\}$ จะมีขนาดของเซตเป็นสี่ซึ่งคือจำนวนของสมาชิกในเซต เนื่องจากการปรากฏอยู่ของสมาชิก 1 สองครั้งในเซตถือว่ามี 1 เป็นสมาชิกเพียงแค่ตัวเดียว

สำหรับเซต A และ B ถ้า $A \subseteq B$ (เซตย่อย Subset) แล้วแสดงว่า สำหรับทุก ๆ ค่าของ $a \in A$ แล้ว $a \in B$ ด้วย ดังนั้นถ้า $A \subseteq B$ และจำนวนสมาชิกของ A มีค่าเท่ากับจำนวนสมาชิกของ B จะได้ว่าเซตทั้งสองเท่ากันหรือ $A = B$ ในกรณีที่ต้องการเน้นว่าเซตของ A ไม่เท่ากับเซต B แต่สมาชิกของ A ทุกตัวเป็นสมาชิกของ B ด้วย เราจะใช้สัญลักษณ์ $A \subset B$ (เซตย่อยแท้ Proper subset)

ในกรณีที่เซตไม่มีสมาชิกอยู่เราจะใช้สัญลักษณ์ $\{\}$ หรือ $\emptyset$ ซึ่งเรียกว่า เซตว่าง ตัวดำเนินการพื้นฐานสำหรับเซตมีอยู่สามตัวที่สำคัญ ซึ่งเราจะอธิบายด้วยการอาศัยเซตจำนวนสองตัวดังนี้ กำหนดให้เซต A และ B ซึ่งแสดงในรูปแบบการแจกแจงได้ดังนี้

$$A = \{0, 2, 4, 6, 8\}$$

$$B = \{1, 2, 3, 4, 5\}$$

ตัวดำเนินการส่วนรวม $\cup$ (Union) ระหว่างเซต A และ B สามารถเขียนได้เป็น $A \cup B$ ซึ่งผลลัพธ์ของตัวดำเนินการนี้คือเซตที่มีสมาชิกในเซต A หรือเซต B แสดงในรูปแบบนิยามได้ดังนี้

$$A \cup B = \{x | x \in A \text{ หรือ } x \in B\}$$

จากค่าของเซตข้างต้น $A \cup B$ จะมีค่าเป็น $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8\}$ ตัวดำเนินการส่วนรวมระหว่างเซต A และ B หรือ $A \cap B$ (Intersection) คือเซตที่มีสมาชิกที่อยู่ทั้งในเซต A และเซต B แสดงในรูปแบบนิยามเซตได้เป็น

$$A \cap B = \{x | x \in A \text{ และ } x \in B\}$$

บทที่ 2

เครื่องสถานะจำกัด

เราจะเริ่มเนื้อหาบทนี้ด้วยตัวอย่างปัญหาการข้ามแม่น้ำของชาวไร่ ซึ่งชาวไร่จะต้องนำหมาป่า แพะ และผักกาด ข้ามฝั่งแม่น้ำไปด้วย ที่ชายฝั่งมีเรือข้ามแม่น้ำหนึ่งลำซึ่งเป็นเรือขนาดเล็กที่รับน้ำหนักได้เพียงคนพายเรือกับสัมภาระได้เพียงชิ้นเดียวเท่านั้น ชาวไร่คนดังกล่าวรู้ดีว่าถ้าเขาปล่อยให้แพะกับหมาป่าอยู่ด้วยกันตามลำพังหมาป่าจะกัดแพะ อีกทั้งถ้าเขาปล่อยให้แพะอยู่กับผักกาดโดยไม่มีเขาอยู่ด้วย แพะก็จะกินผักกาด คำถามคือชาวไร่สามารถข้ามฝั่งแม่น้ำพร้อมทั้งนำสัมภาระของเขาทั้งหมดไปได้อย่างไร โดยที่ไม่มีการสูญเสียของสัมภาระใด ๆ ทั้งสิ้น

กำหนดให้ M แทนชาวไร่ W แทนหมาป่า G แทนแพะ และ C แทนผักกาด โดยที่เครื่องหมาย - แทนแม่น้ำ เราสามารถแสดงลำดับการข้ามฝั่งแม่น้ำของชาวไร่ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} MWGC &\rightarrow WC-MG \rightarrow MWC-G \\ &\rightarrow C-MWG \rightarrow MGC-W \\ &\rightarrow G-MWC \rightarrow MG-WC \\ &\rightarrow MWGC \end{aligned}$$

จากลำดับข้างต้นจะเริ่มด้วย $MWGC$ ซึ่งอยู่ฝั่งเดียวกันของแม่น้ำ จากนั้นชาวไร่จะนำแพะข้ามแม่น้ำไปก่อน เมื่อถึงอีกฝั่งหนึ่งของแม่น้ำจะมีชาวไร่อยู่กับแพะของเขา ซึ่งแสดงได้ด้วยสัญลักษณ์ $WC-MG$ ลำดับเปลี่ยนแปลงไปเรื่อย ๆ จะกระทั่งไปสิ้นสุดเมื่อชาวไร่และ

สัมภาระของเขาได้อยู่อีกฝั่งหนึ่งของแม่น้ำ จะสังเกตได้ว่าไม่มีลำดับใดที่ขัดแย้งกับการทำให้สัมภาระมีความเสียหาย ซึ่งตัวอย่างของลำดับที่แสดงถึงความเสียหายได้แก่ $MC-WG$ ซึ่งเกาะอยู่ฝั่งเดียวกับหมาป่าตามลำพัง

จากคำตอบของลำดับข้างต้น ถ้าเราเปลี่ยนคำถามเป็นว่ามีลำดับที่สั้นกว่าลำดับข้างต้นหรือไม่ ปัญหานี้ก็จะยากขึ้นในการตอบ เนื่องจากเราจำเป็นต้องตรวจสอบทุกกรณีที่มีลำดับสั้นกว่าว่าสามารถตอบปัญหาเรื่องการย้ายฝั่งได้หรือไม่ ซึ่งถ้าใช้คนเป็นคนคิดทีละกรณีก็ต้องใช้เวลาค่อนข้างนานเนื่องจากมีหลายกรณีที่ต้องพิจารณา ดังนั้นเราจะเปลี่ยนวิธีการแก้ปัญหาใหม่ โดยการแสดงลำดับการเปลี่ยนแปลงในทุก ๆ กรณีแทน เริ่มต้นด้วยกำหนดให้ (M, W, G, C) แทนลำดับของสถานะของสัมภาระและชาวไร่ โดยที่ค่าในแต่ละลำดับเป็น 0 เมื่อสัมภาระหรือชาวไร่อยู่ทางซ้ายของฝั่งแม่น้ำ หรือ 1 เมื่อสัมภาระหรือชาวไร่อยู่ทางขวาของฝั่งแม่น้ำ ดังนั้น $(0, 0, 0, 0)$ จะแสดงว่า ชาวไร่และสัมภาระทุกอย่างอยู่ด้านซ้ายของฝั่งแม่น้ำ

การเปลี่ยนสถานะจาก (M, W, G, C) เป็น (M', W', G', C') จะมีได้เพียงสี่ประเภทเท่านั้นคือ m ชาวไร่พายเรือข้ามฝั่งตามลำพัง w ชาวไร่นำหมาป่าพายเรือข้ามฝั่งไปด้วยกัน เช่นเดียวกันกับ g และ c ซึ่งเป็นการนำสัมภาระข้ามฝั่งไปพร้อมกับชาวไร่ ดังนั้นเราสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดของทุก ๆ สถานะที่เป็นไปได้ดังตารางที่ 2.1

เนื่องจากสถานะ $(0, 0, 1, 1)$ กับ สถานะ $(1, 1, 0, 0)$ เป็นสถานะที่ปล่อยให้แพะอยู่กับผักกาดตามลำพัง และสถานะ $(0, 1, 1, 0)$ กับ $(1, 0, 0, 1)$ เป็นสถานะที่ปล่อยให้หมาป่าอยู่กับแพะตามลำพัง เราจึงพิจารณาสถานะดังกล่าวออกพร้อมทั้งระบุการเปลี่ยนแปลงมายังสถานะดังกล่าวด้วยเครื่องหมาย $\times$ แทน จะได้เป็นตารางแสดงสถานะใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ช่วยให้เราเข้าใจการเปลี่ยนแปลงสถานะในแต่ละขั้นตอน แต่ไม่ได้ช่วยให้เราเข้าใจการทำงานทั้งระบบ หรือในกรณีที่พิจารณาหลาย ๆ ขั้นตอน ตัวอย่างเช่น ถ้าเริ่มต้นที่สถานะ $(0, 0, 0, 1)$ มีการเปลี่ยนแปลงสถานะเป็น w m แล้ว g ตามลำดับจะเป็นสถานะใด ซึ่งเราสามารถตอบคำถามได้โดยตรวจสอบจากค่าในตารางในแต่ละขั้นตอน แต่ก็ยังคงต้องดูทีละขั้นตอน เพื่อความง่ายในการตรวจสอบเราจะเปลี่ยนจากตารางให้เป็นรูปภาพแทน ซึ่งภาพดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.1 โดยที่วงกลมในกราฟแสดงสถานะ ตัวเลขในวงกลมแสดงค่าของสถานะ ตัวอย่างเช่น ตัวเลข 10 แทนสถานะ $(1, 0, 1, 0)$ ซึ่งเป็นค่าฐานสองของ 1010 เรา

บทที่ 3

ภาษาพื้นฐาน

ในบทนี้เราจะกล่าวถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของภาษาพื้นฐานโดยเริ่มที่ นิพจน์พื้นฐาน (Regular expression) ซึ่งเป็นนิพจน์สำหรับอธิบายภาษาพื้นฐาน (Regular language) นิพจน์ดังกล่าวจะมีความสามารถในการอธิบายภาษาได้เช่นเดียวกับเครื่องสถานะจำกัด ซึ่งเนื้อหาในส่วนนี้จะครอบคลุมเรื่องการพิสูจน์การเท่าเทียมกันของนิพจน์พื้นฐานกับเครื่องสถานะจำกัดด้วย ต่อมาเราจะศึกษาภาษาที่ทั้งนิพจน์พื้นฐานและเครื่องสถานะจำกัดไม่สามารถอธิบายได้ หรืออีกนัยหนึ่งคือภาษาที่ไม่ใช่ภาษาพื้นฐาน การพิสูจน์ว่าภาษาที่กำหนดให้เป็นภาษาพื้นฐานหรือไม่เราจะอาศัยทฤษฎี Pumping lemma ช่วยในการพิสูจน์ นอกจากนั้นเราจะศึกษาตัวดำเนินการปิดสำหรับภาษาพื้นฐานเพื่อนำไปใช้ประโยชน์สำหรับตีความว่าภาษาที่พิจารณาเป็นภาษาพื้นฐานหรือไม่ด้วยเช่นกัน ในส่วนสุดท้ายของบทนี้ เราจะศึกษาการลดทอนเครื่องสถานะจำกัด (State minimization) ซึ่งจะมีประโยชน์ในการทดสอบว่า ภาษาพื้นฐานสองภาษาเป็นภาษาเดียวกันหรือไม่ เนื่องจากถ้าภาษาสองภาษามีเครื่องสถานะจำกัดเหมือนกันแสดงว่าเป็นภาษาเดียวกัน ดังนั้นถ้าเราลดทอนเครื่องสถานะจำกัดของสองภาษาแล้วมีลักษณะเหมือนกันแสดงว่าภาษาทั้งสองเป็นภาษาเดียวกัน

3.1 นิพจน์พื้นฐาน

กำหนดให้นิพจน์ทางคณิตศาสตร์ (Mathematical expression) นิพจน์หนึ่งเป็น $(5 \times 6) + 4$ ซึ่งนิพจน์ดังกล่าวจะประกอบไปด้วย *ตัวดำเนินการ* (Operation) ในตัวอย่างข้างต้นคือ $\times$ และ $+$ และ *ตัวถูกดำเนินการ* (Operand) ในตัวอย่างข้างต้นคือ 4 5 และ 6

เช่นเดียวกันกับนิพจน์ทางคณิตศาสตร์ นิพจน์พื้นฐาน (Regular expression) เป็นนิพจน์ที่ใช้ในการอธิบายภาษา (Language) ผลลัพธ์ของนิพจน์ทางคณิตศาสตร์จะเป็นตัวเลขทางคณิตศาสตร์ ในขณะที่ผลลัพธ์ของนิพจน์พื้นฐานจะเป็นภาษา ซึ่งเราจะเรียกภาษานี้ว่า *ภาษาพื้นฐาน* (Regular language) ตัวดำเนินการในนิพจน์ปกติจะมีเพียงแค่สามตัวเท่านั้นคือ *ตัวรวม* (+, Union) *ตัวต่อ* ($\cdot$, Concatenation) และ *ตัวดำเนินการควีน* (*, Kleen) เราจะอธิบายตัวดำเนินการข้างต้นโดยอาศัยตัวอย่างของภาษา L_1 และ L_2 โดยกำหนดให้ $L_1 = \{a, b\}$ และ $L_2 = \{c, d\}$ แล้ว

$$L_1 + L_2 = \{a, b, c, d\}$$

ซึ่งหมายถึงเซตของคำที่สามารถเป็นสมาชิกของ L_1 หรือ L_2 หรือทั้งคู่

$$L_1 \cdot L_2 = \{ac, ad, bc, bd\}$$

แสดงการต่อโดยเริ่มจาก L_1 ตามด้วย L_2 เป็นเซตของคำที่เริ่มต้นด้วยคำของ L_1 แล้วตามด้วยคำของ L_2 และ

$$L_1^* = \{\epsilon, a, b, aa, bb, ab, ba, \dots\}$$

แสดงค่าของตัวดำเนินการปิดแบบควีนซึ่งเป็นเซตอนันต์ เกิดจากการเลือกสมาชิกใน L_1 ตั้งแต่ 0 ตัวเป็นต้นไปแล้วนำมาต่อกัน โดยการเลือกแต่ละครั้งเป็นอิสระต่อกัน

บทที่ 4

ภาษาที่ไม่มีบริบท

ในบทนี้เราจะศึกษาภาษาที่ไม่มีบริบท (Context-free language) ซึ่งเป็นภาษาที่ซับซ้อนมากกว่าภาษาพื้นฐาน กล่าวคือมีภาษาที่ไม่อยู่ในภาษาพื้นฐานแต่อยู่ในภาษาที่ไม่มีบริบท เราจะเริ่มต้นแนะนำไวยากรณ์สำหรับภาษา (Language grammar) การสร้างคำจากไวยากรณ์ในรูปแบบการสร้างที่แตกต่างกัน ความสับสนของไวยากรณ์ (Ambiguity of grammar) จากนั้นจะอธิบายภาษาพื้นฐานในรูปแบบไวยากรณ์ที่เรียกว่า ไวยากรณ์สำหรับภาษาพื้นฐาน (Regular Grammar) ต่อด้วยการอธิบายภาษาที่ไม่มีบริบทโดยอาศัยภาษาพื้นฐานก่อน เพื่อพิสูจน์ว่าทุกภาษาที่เป็นภาษาพื้นฐานก็คือภาษาที่ไม่มีบริบท

เริ่มด้วยพิจารณาประโยคในภาษาอังกฤษ (Sentence) ซึ่งจะประกอบไปด้วยประธานของประโยค (Subject) และภาคขยาย (Predicate) ซึ่งเราสามารถเขียนรูปแบบการเปลี่ยนแปลงโดยวิธีการเขียนแทนที่ได้ ($\rightarrow$) กล่าวคือ ถ้าเราเจอประโยคเราสามารถเขียนประโยคได้เป็นสองส่วนคือ ประธานตามมาด้วยภาคขยายดังนี้

$\langle \text{Sentence} \rangle \rightarrow \langle \text{Subject} \rangle \langle \text{Predicate} \rangle$

ตัวอย่างเช่น ประโยค “The big dog chased the cat” สามารถแบ่งเป็น “The big dog” ซึ่งเป็นประธานของประโยค และ “chased the cat” เป็นภาคขยาย นอกจากเราจะใช้โครงสร้างข้างต้นสำหรับแบ่งส่วนต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ประเภทของส่วนประกอบแล้ว เรายังสามารถใช้ใน

การสร้างประโยคที่สอดคล้องกับโครงสร้างด้วย ตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดให้

$\langle \text{Subject} \rangle \rightarrow \text{The big dog}$

$\langle \text{Subject} \rangle \rightarrow \text{The old dog}$

$\langle \text{Predicate} \rangle \rightarrow \text{chased the cat}$

แล้วจาก $\langle \text{Sentence} \rangle \rightarrow \langle \text{Subject} \rangle \langle \text{Predicate} \rangle$ จะได้ $\langle \text{Sentence} \rangle$ สองรูปแบบคือ “The big dog chased the cat” และ “The old dog chased the cat” เนื่องจาก $\langle \text{Subject} \rangle$ สามารถเป็นได้สองรูปแบบ จากโครงสร้างข้างต้นเรายังสามารถแบ่งส่วนให้ย่อยลงมาเพื่อความชัดเจนในการอธิบายส่วนของประโยคดังนี้

$\langle \text{Sentence} \rangle \rightarrow \langle \text{Subject} \rangle \langle \text{Predicate} \rangle$

$\langle \text{Subject} \rangle \rightarrow \langle \text{Article} \rangle \langle \text{Adjective} \rangle \langle \text{Noun} \rangle$

$\langle \text{Predicate} \rangle \rightarrow \langle \text{Verb} \rangle \langle \text{Object} \rangle$

$\langle \text{Object} \rangle \rightarrow \langle \text{Article} \rangle \langle \text{Noun} \rangle$

$\langle \text{Article} \rangle \rightarrow \text{the}$

$\langle \text{Adjective} \rangle \rightarrow \text{big}$

$\langle \text{Noun} \rangle \rightarrow \text{cat}$

$\langle \text{Noun} \rangle \rightarrow \text{dog}$

$\langle \text{Verb} \rangle \rightarrow \text{chased}$

จะสังเกตได้ว่าตัวอักษรที่อยู่ในเครื่องหมาย $\langle \rangle$ จำเป็นต้องถูกเขียนแทนให้หมดเพื่อสร้างประโยคขึ้นมา ซึ่งเราจะเรียกตัวอักษรจำพวกนี้ว่า ตัวแปรที่ต้องแปลงต่อ (Non-terminal variable) ตัวอักษรอีกประเภทหนึ่งคือ ตัวอักษรที่ไม่ใช่ตัวแปรตัวอย่างเช่น the chased dog big และ cat เป็นตัวอักษรที่ไม่สามารถเขียนแทนได้อีก เราจะเรียกตัวอักษรประเภทนี้ว่า ตัวแปรที่แปลงไม่ได้แล้ว (Terminal variable)

บทที่ 5

เครื่องสถานะจำกัด แบบดันลง

เช่นเดียวกันกับนิพจน์พื้นฐานซึ่งเท่าเทียมกันกับเครื่องสถานะจำกัดในเรื่องการเป็นสมาชิกของคำในภาษา ไวยากรณ์ที่ไม่มีบริบทก็จะมีเครื่องจักรที่มีความเท่าเทียมกันในเรื่องการอธิบายความหมายของภาษา ซึ่งในที่นี้คือภาษาที่ไม่มีบริบท โดยที่เครื่องจักรดังกล่าวที่จะศึกษาในบทนี้คือ เครื่องสถานะจำกัดแบบดันลง (Push-Down automata) [Schützenberger, 1963] เช่นเดียวกันกับเครื่องสถานะจำกัดซึ่งมีสองแบบคือแบบเชิงกำหนด (Deterministic) และแบบเชิงไม่กำหนด (Nondeterministic) เครื่องสถานะจำกัดแบบดันลงก็จะมีทั้งแบบเชิงกำหนดและเชิงไม่กำหนด แต่ที่แตกต่างกันคือทั้งสองแบบจะมีความสามารถไม่เท่ากัน

5.1 เครื่องสถานะจำกัดแบบดันลงเชิงกำหนด

เครื่องสถานะจำกัดแบบดันลงเชิงกำหนด [Fischer, 1963] เป็นเครื่องสถานะจำกัดที่ควบคุมตัวแปรป้อนเข้า และอีกอย่างหนึ่งที่เพิ่มขึ้นมาคือหน่วยความจำ ซึ่งการเข้าถึงหน่วยความจำของเครื่องสถานะจำกัดแบบดันลงเชิงกำหนดจะมีลักษณะเดียวคือ “เข้าก่อนออกทีหลัง” (First In-Last Out) ตัวอย่างการเข้าถึงดังกล่าวคือ การวางจานซ้อนกัน ซึ่งจานอันแรกที่ถูกวางไว้ก่อนจะถูกนำออกมาใช้เป็นใบสุดท้าย เป็นต้น พิจารณาตัวอย่างภาษาที่ไม่มีบริบท

$$L = \{wcw^R \mid w \in (a + b)^*\}$$



ซึ่งสามารถแสดงได้โดยไวยากรณ์ที่ไม่มีบริบท

$$S \rightarrow aSa \mid bSb \mid c$$

เราสามารถสร้างเครื่องสถานะจำกัดแบบดันลงเชิงกำหนด M โดยอาศัยหน่วยความจำช่วยในการลำดับของส่วน w แรก ซึ่งคือส่วนที่มาก่อน c โดยมีลำดับการทำงานดังนี้

1. ในกรณีที่ตัวแปรป้อนเข้าเป็น a จะเก็บค่าของ A ไว้ในหน่วยความจำ แล้วอ่านตัวแปรตัวต่อไป
2. ในกรณีที่ตัวแปรป้อนเข้าเป็น b จะเก็บค่าของ B ไว้ในหน่วยความจำ แล้วอ่านตัวแปรตัวต่อไป

เมื่อตัวอักษรของตัวแปรป้อนเข้าเป็น c เราจะเริ่มขั้นตอนการตรวจสอบขั้นต่อไปดังนี้

1. ถ้าค่าของหน่วยความจำตัวที่กำลังอ่านอยู่เป็น A และค่าของตัวแปรที่กำลังอ่านอยู่เป็น a ก็จะเอาค่าของหน่วยความจำออก แล้วอ่านตัวแปรป้อนเข้าตัวต่อไป
2. ถ้าค่าของหน่วยความจำตัวที่กำลังอ่านอยู่เป็น B และค่าของตัวแปรที่กำลังอ่านอยู่เป็น b ก็จะเอาค่าของหน่วยความจำออก แล้วอ่านตัวแปรป้อนเข้าตัวต่อไป
3. ถ้าเราอ่านตัวแปรป้อนเข้าหมดทุกตัวแล้ว และค่าของหน่วยความจำที่กำลังอ่านอยู่ไม่เป็น A หรือ B จะสามารถสรุปได้ว่าคำที่พิจารณาอยู่เป็นคำในภาษา

จะสังเกตได้ว่าเรามีลำดับการทำงานเป็นสองขั้นตอน ดังนั้นเราแบ่งสถานะการทำงานออกเป็นสองสถานะคือ q_1 q_2 และ q_3 โดยที่ q_1 แสดงสถานะที่เราเริ่มทำงานก่อนที่จะเจอตัวแปร c และ q_2 แสดงสถานะที่เราเริ่มทำงานหลังจากที่อ่านตัวแปร c โดยที่ q_3 แสดงการยอมรับคำในภาษาในกรณีที่อ่านครบทุกตัวแล้วไม่มีค่าของ A หรือ B อยู่ในหน่วยความจำ ลำดับการทำงานของเครื่องสถานะจำกัดแบบดันลงเชิงกำหนดสำหรับตรวจสอบคำ $abcba$ แสดงได้ดังรูปภาพที่ 5.1 จะสังเกตได้ว่าการเปลี่ยนแปลงสถานะของเครื่องจักรจะขึ้นอยู่กับสององค์ประกอบคือ ค่าที่กำลังอ่านอยู่ในหน่วยความจำ และตัวแปรป้อนเข้าที่กำลังพิจารณาจากลักษณะการทำงานข้างต้นเราสามารถสรุปเป็นกฎการเปลี่ยนแปลงเป็นตารางได้ดังตารางที่ 5.1

บทที่ 6

เครื่องจักรทัวริง

เครื่องจักรทัวริง (Turing machine) [Turing, 1937] เป็นรูปแบบจำลองเครื่องจักรที่คิดค้นและนำเสนอขึ้นในปีคริสต์ศักราช 1936 โดย อัลัน ทัวริง นักคณิตศาสตร์และนักวิทยาการคอมพิวเตอร์ชาวอังกฤษ มีลักษณะการทำงานเหมือนกับเครื่องจักรสถานะจำกัด (Finite Automata) แต่มีความสามารถมากกว่าตรงที่มีขนาดในการเก็บของข้อมูลที่ไม่จำกัด และวิธีการอ่านหรือบันทึกข้อมูลลงในที่เก็บข้อมูลไม่ได้ถูกจำกัดให้เป็นแบบลักษณะใดลักษณะหนึ่ง เช่น เดียวกันกับเครื่องจักรสถานะจำกัดแบบดันลง (Push-Down automata) ซึ่งจำกัดให้การเข้าถึงข้อมูลต้องเป็นแบบเรียงซ้อนทับกันเท่านั้น

เครื่องคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันมีลักษณะการทำงานคล้ายกับการทำงานของเครื่องจักรทัวริง ทุกปัญหาที่คอมพิวเตอร์ในปัจจุบันสามารถแก้ได้เครื่องจักรทัวริงก็สามารถแก้ได้ในทางกลับกันถ้าปัญหาที่เครื่องจักรทัวริงสามารถแก้ได้คอมพิวเตอร์อาจไม่สามารถทำได้เนื่องจากขนาดของพื้นที่ในการเก็บข้อมูลที่จำกัด หรือระยะเวลาที่ต้องใช้ในการแก้ปัญหานั้นนานจนเกินไป ฉะนั้นถ้ามีปัญหาที่ไม่สามารถแก้ได้ด้วยเครื่องจักรทัวริงจะสามารถสรุปได้ว่าคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันก็ไม่สามารถแก้ปัญหานั้นได้เราจึงใช้เครื่องจักรทัวริงในการศึกษาความยากของปัญหาสำหรับการคำนวณ ฉะนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเข้าใจในหลักการการทำงาน of เครื่องจักรทัวริงและรูปแบบต่าง ๆ ของเครื่องจักรทัวริง

6.1 การนิยามรูปนัยสำหรับเครื่องจักรทัวริง

เครื่องจักรทัวริงประกอบไปด้วยสองส่วนที่สำคัญคือ เทปข้อมูลที่มีขนาดไม่จำกัดเปรียบเสมือนพื้นที่การเก็บข้อมูล และส่วนหัวอ่านซึ่งสามารถอ่านและเขียนตัวอักษรบนเทปข้อมูล โดยการทำงานเริ่มต้นของเครื่องจักรทัวริงจะ กำหนดให้เทปข้อมูลเก็บส่วนที่เป็นตัวแปรป้อนเข้าในส่วนต้นของเทป ในขณะที่ส่วนที่เหลือที่มีขนาดไม่จำกัดเป็นเพียงช่องว่างทั้งหมด เครื่องจักรทัวริงจะหยุดการทำงานโดยการแสดงสถานะใดสถานะหนึ่งในสองสถานะนี้เท่านั้น คือ *ยอมรับ* (Accept) หรือ *ไม่ยอมรับ* (Reject) นอกจากสถานะเมื่อหยุดการทำงานแล้ว ข้อมูลที่ปรากฏในเทปก็ถือว่าเป็นผลลัพธ์ที่สร้างขึ้นด้วยเช่นกัน พิจารณาตัวอย่างปัญหาพร้อมทั้งแนวคิดการออกแบบเครื่องจักรทัวริงในตัวอย่างที่ 6.1



ตัวอย่างปัญหา 6.1

กำหนดให้ภาษา L เป็นภาษาที่ประกอบไปด้วยตัวอักษรในเซต $\{a, b, c\}$ โดยที่ตัวอักษร c จะมีเพียงตัวเดียวในแต่ละคำและจะปรากฏอยู่ตรงกลางของคำในภาษาเสมอ นอกจากนั้นส่วนของคำที่ปรากฏอยู่ก่อนหน้า c จะเหมือนกันกับส่วนที่ตามหลังตัว c ซึ่งสามารถเขียนเซตของคำที่เป็นสมาชิกในภาษาได้ดังนี้

$$\{wcw | w \in \{a, b\}^*\}$$

จงออกแบบเครื่องจักรทัวริง M สำหรับการตรวจสอบการเป็นสมาชิกของคำในภาษา L โดยที่ถ้าคำเป็นสมาชิกในภาษาให้เครื่องจักรทัวริงหยุดการทำงานในสถานะยอมรับ และถ้าไม่ใช่คำในภาษาให้หยุดในสถานะไม่ยอมรับ

วิธีทำ กำหนดให้หัวอ่านของเครื่องจักรทัวริงอยู่ที่ตำแหน่งแรกของตัวแปรป้อนเข้า ณ เวลาเริ่มต้นการทำงานของเครื่องจักรทัวริง และคำที่ต้องการตรวจสอบอยู่ในรูปแบบ w_1cw_2 โดยที่ w_1 เป็นส่วนของคำที่อยู่ก่อนตัวอักษร c ในขณะที่ w_2 คือส่วนของคำที่ตามหลัง c ลำดับการทำงานของเครื่องจักรทัวริง M สามารถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้



การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า 1

ผู้แต่ง: ผศ.ดร.นิพัทธ์ จันทรินทร์

ปีพิมพ์ : 1/2560

ตำราเล่มนี้อธิบายกฎและทฤษฎีต่าง ๆ ที่ใช้วิเคราะห์วงจรไฟฟ้า โดยเรียบเรียงเนื้อหาอย่างเป็นลำดับและเป็นเหตุเป็นผล ในแต่ละบทมีตัวอย่างโจทย์ที่แสดงวิธีทำเป็นขั้นตอนซึ่งอธิบายอย่างละเอียดเพื่อให้ผู้อ่านสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย รวมทั้งมีแบบฝึกหัดท้ายบทพร้อมคำตอบให้ผู้อ่านได้ฝึกฝนเพื่อเพิ่มทักษะในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า ตำราเล่มนี้มีเนื้อหาครบถ้วนตามที่ระบุ โดยสภาวิศวกรสำหรับวิชา Electric Circuits ซึ่งเป็นหนึ่งในกลุ่มวิชาพื้นฐานทางวิศวกรรม ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกสถาบันการศึกษา เพื่อให้บัณฑิตนักศึกษามีคุณสมบัติครบถ้วนในการขอรับใบประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมในแขนงวิศวกรรมไฟฟ้า กำลังและในแขนงวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับรายวิชาในหลักสูตรอื่นที่เรียนพื้นฐานทางวิศวกรรมไฟฟ้า เช่น วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมเคมี และยังเหมาะกับผู้ที่ต้องการศึกษาด้วยตนเอง

แนะนำหนังสือ กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



ระบบควบคุม

ผู้แต่ง: ผศ.ดร.พนัส นัถฤทธิ์

ปีพิมพ์ : 1/2560

หนังสือ “ระบบควบคุม” เหมาะสำหรับนิสิตนักศึกษาหรือบุคคลทั่วไปที่สนใจเกี่ยวกับระบบควบคุมเบื้องต้น ภายในเล่มประกอบไปด้วยเนื้อหาสำคัญที่ใช้สำหรับการเรียน การสอนในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาทิ การหาฟังก์ชัน ถ่ายโอนของระบบแผนผังบล็อก กราฟการไหลของสัญญาณ การควบคุมแบบป้อนกลับ ผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งและอันดับสอง วิธีทดสอบความมีเสถียรภาพของระบบทางเดินราก แผนภาพโพล แต่ละบทมีตัวอย่างการวิเคราะห์โจทย์และแบบฝึกหัดท้ายบทมากกว่าร้อยข้อ รวมทั้งการใช้คำสั่งโปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์ระบบควบคุม ในทุกบทอีกด้วย

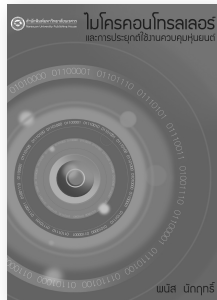


นาโนเทคโนโลยีเพื่อสิ่งแวดล้อม

ผู้แต่ง: รศ.ดร.พวงรัตน์ ขจิตวิษยานุกุล

ปีพิมพ์ : 1/2557

แนวทางใหม่เชิงรุกการพัฒนาวิทยาการความก้าวหน้าของ
“นาโนเทคโนโลยี” สู่การประยุกต์ใช้ด้านสิ่งแวดล้อม

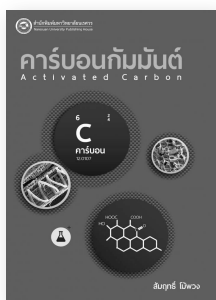


ไมโครคอนโทรลเลอร์และ การประยุกต์ใช้ในงานควบคุมหุ่นยนต์

ผู้แต่ง: ผศ.ดร.พนัส นัถฤทธิ์

ปีพิมพ์ : 1/2560

ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นระบบที่รวบรวมเอาคุณสมบัติและองค์ประกอบเกือบทุกอย่างของระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาไว้ในตัวไอซีเพียงตัวเดียว ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำไปใช้ในอุปกรณ์หรืองานควบคุมขนาดเล็ก เนื่องจากระบบคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปมักมีโครงสร้างขนาดใหญ่ หากนำมาใช้ในงานลักษณะดังกล่าวจะไม่คุ้มกับการลงทุน อีกทั้งยังส่งผลให้อุปกรณ์มีขนาดใหญ่ สิ้นเปลืองพื้นที่ในการติดตั้ง ปัจจุบันไมโครคอนโทรลเลอร์มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางทั้งในงานภาคอุตสาหกรรม การวิจัยเพื่อพัฒนาระบบควบคุมประเภทต่าง ๆ และการประยุกต์ใช้ในงานควบคุมหุ่นยนต์



คาร์บอนกัมมันต์

Activated carbon

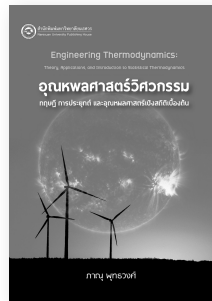
ผู้แต่ง: รศ.ดร.สัมฤทธิ์ ไม้พวง

ปีพิมพ์ : 1/2558

ประเภทและกระบวนการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ จำเป็นที่จะต้องศึกษาให้เข้าใจ โดยเฉพาะการวิจัยและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า เพื่อให้ได้ คาร์บอนกัมมันต์ที่มีคุณภาพและต้นทุนการผลิตต่ำ รวมทั้งการวิเคราะห์ และตรวจสอบให้ได้มาตรฐาน ด้วยวิธีการที่น่าเชื่อถือและยอมรับได้ และการใช้ประโยชน์ในหลายๆ ด้านของคาร์บอนกัมมันต์ ในที่นี้ได้รับรวบรวมจากเอกสารตีพิมพ์ในวารสารจำนวนมาก เหมาะสำหรับนิสิต นักศึกษา หรือผู้ที่สนใจในการวิจัยเกี่ยวกับการผลิตคาร์บอนกัมมันต์



☎ 0 5596 8833-8836



อุณหพลศาสตร์วิศวกรรม:

ทฤษฎี การประยุกต์

และอุณหพลศาสตร์เชิงสถิติเบื้องต้น

ผู้แต่ง: ดร.ภาณุ พุทรวงศ์

ปีพิมพ์ : 1/2560

หนังสือ “อุณหพลศาสตร์วิศวกรรม: ทฤษฎี การประยุกต์ และอุณหพลศาสตร์เชิงสถิติเบื้องต้น” เหมาะสำหรับนิสิตนักศึกษาสาขาวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมเคมี วิศวกรรมพลังงาน ฟิสิกส์ พลังงาน รวมไปถึงวิศวกรและผู้สนใจที่ต้องการศึกษาอุณหพลศาสตร์ในเชิงลึก โดยเนื้อหาจะเชื่อมโยงการประยุกต์ใช้งานอุณหพลศาสตร์ทางวิศวกรรมกับทฤษฎีที่มีที่มาจากศาสตร์ทางฟิสิกส์ เช่น สมการสถานะ ความสัมพันธ์ของสมบัติต่างๆ ทางอุณหพลศาสตร์ และยังรวมไปถึงอุณหพลศาสตร์เชิงสถิติเบื้องต้น ซึ่งเป็นการศึกษาอุณหพลศาสตร์ ในมุมมองจุลภาคเพื่อแสดงให้เห็นต้นทางของทฤษฎี ตั้งแต่กลศาสตร์ของอนุภาคกลศาสตร์ควอนตัมว่าถูกนำมาประยุกต์ใช้กับอุณหพลศาสตร์โดยมีความสอดคล้องกับอุณหพลศาสตร์ ในมุมมองมหภาคอย่างไร



อุณหพลศาสตร์

ว่าด้วยหลักการโครงสร้าง

และกระบวนการทัศน์ยุคใหม่

ผู้แต่ง: รศ.ดร.บูรณทร์ กำจัดภัย

ปีพิมพ์ : 1/2558

แผนที่ช่วยเราไม่ให้หลงทางและช่วยให้เห็นภาพรวมของภูมิประเทศ ภูมิประเทศแห่งวิทยาศาสตร์นั้นกำหนดโดยธรรมชาติมันจึงมีความงามแฝงเร้นในทุกซอกส่วนหนังสือเล่มนี้เสนอแนวคิดส่วนใหญ่ของอุณหพลศาสตร์ในรูปแบบโครงสร้างเชิงทฤษฎีซึ่งเป็นแผนที่ในการค้นหาความงามในการเดินทางนี้ อุณหพลศาสตร์เป็นฟิสิกส์ที่ต่างจากฟิสิกส์สาขาอื่นๆ ทั้งหมด ด้วยเพราะมันไม่อาจสร้างได้จากหลักการแอ็กชัน หลักการพื้นฐานและโครงสร้างของวิชานี้ได้นำเสนอไว้ในหนังสือนี้โดยแสดงการพิสูจน์ที่มาที่ไปของสมการต่างๆ ไว้อย่างครบครัน ได้นำเสนอสะพานเชื่อมโยงจากฟิสิกส์ไปสู่ทัศนะเชิงประยุกต์ทางเคมีและวิศวกรรมไว้อย่างชัดเจน และยังเปิดประตูสู่กระบวนการทัศน์ยุคใหม่ของอุณหพลศาสตร์แบบไม่สมดุลและรูปแบบของวิชาเศรษฐศาสตร์เชิงอุณหพลศาสตร์อีกด้วย หนังสือเล่มนี้จึงเหมาะกับการเป็นหนังสืออ้างอิงสำหรับนักวิจัยและเหมาะเป็นตำราสำหรับผู้สอนและผู้เรียนในระดับปริญญาตรีถึงปริญญาโททางฟิสิกส์ วิศวกรรม และเคมีที่ต้องการเข้าใจอุณหพลศาสตร์อย่างเป็นระบบ

f สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร

✉ nuph@nu.ac.th