ทฤษฎีการคำนวณ

รูปแบบการคำนวณและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ตัวอย่าง

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.-- พิษณุโลก : 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
สพน. 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 ศาลาพระเกี้ยว 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 (รร.จปร.) จังหวัดนครนายก โทร. 037-393-023, 037-393-036
   จัตุรัสจามจุรี กรุงเทพฯ โทร. 0-2160-5301
   รัตนาธิเบศร์ จังหวัดนนทบุรี โทร. 0-2950-5408-9
   มหาวิทยาลัยพะเยา โทร. 0-5446-6799, 0-5446-6800
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน โทร. 044-922662-3
   สาขาย่อยคณะครุศาสตร์จุฬาฯ 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 ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150 โทร. 0-4375-4319

กองบรรณาธิการ กองบรรณาธิการจัดทำเอกสารสิ่งพิมพ์ทางวิชาการของสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร
ออกแบบปก สรญา แสงเย็นพันธ์
พิมพ์ที่ ร้านพิษณุโลกดอทคอม 999/2-3 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000 โทร. 055-303132

pubat
สำนักพิมพ์นี้เป็นสมาชิกสมาคมผู้จัดพิมพ์และผู้จำหน่ายหนังสือแห่งประเทศไทย
http://www.thaibooksociety.com

กรณีต้องการสั่งซื้อหนังสือปริมาณมาก หรือเข้าชั้นเรียนติดต่อได้ที่ ฝ่ายจัดจำหน่ายสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร
nuph@nu.ac.th
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร
0 5596 8833-8836
nu_publishing

NUPH online store
www.nupress.grad.nu.ac.th

ตัวอย่าง

คำนำ

ทฤษฎีการคำนวณเป็นหนึ่งในเนื้อหาที่สำคัญของทั้งทางด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์และด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ย้อนกลับไปในสมัยเริ่มแรกประมาณปีคริสต์ศักราช 1960 ที่มีการนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้งานในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อน ซึ่งต้องใช้เวลานานในการแก้ตัวอย่างเช่น การคำนวณเส้นโคจรของกระสวยอวกาศ การควบคุมการวัดและการส่งข้อมูลทางไกล คำถามที่เกิดขึ้นในสมัยนั้นคือ ปัญหาลักษณะไหนที่ไม่สามารถใช้คอมพิวเตอร์แก้ปัญหาได้ได้มีการนำเสนอรูปแบบการจำลองการคำนวณเพื่ออธิบายการทำงานของคอมพิวเตอร์แล้วได้ใช้รูปแบบการจำลองนั้นในการตอบปัญหาว่าปัญหาใดสามารถแก้ได้หรือแก้ไม่ได้โดยการใช้คอมพิวเตอร์ดังนั้นทฤษฎีการคำนวณจะประกอบไปด้วยเนื้อหาสองส่วนหลักคือ รูปแบบการคำนวณ และความซับซ้อนของการคำนวณ โดยเนื้อหาในส่วนหลังจะกล่าวถึงลักษณะของปัญหาที่แก้ได้และแก้ไม่ได้ความยากง่ายในการแก้ปัญหาเวลาและปริมาณพื้นที่ที่จำเป็นต้องใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งต้องอาศัยรูปแบบจำลองการคำนวณในส่วนแรกในการอธิบาย ดังนั้นเนื้อหาในส่วนหลังจะมีการจัดสอนในระดับบัณฑิตศึกษาในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในหนังสือเล่มนี้จะกล่าวถึง รูปแบบการคำนวณซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องสถานะจำกัด เครื่องสถานะจำกัดแบบดันลง และเครื่องจักรทัวร์ริ่ง ซึ่งในแต่ละรูปแบบจะมีลักษณะที่เป็นทั้งแบบเชิงกำหนดและเชิงไม่กำหนด การอธิบายความสามารถของแต่ละรูปแบบการคำนวณจะอาศัยการรู้จักภาษา หรือความสามารถในการตรวจสอบการเป็นสมาชิกของคำในภาษา ซึ่งภาษาดังกล่าวจะเป็นภาษาที่อธิบายได้ใน ทฤษฎีภาษารูปนัย (Formal languagetheory) ซึ่งแบ่งแยกความซับซ้อนของภาษาตามลักษณะและรูปแบบของคำในภาษาภาษารูปนัยที่จะกล่าวถึงในเนื้อหาจะประกอบไปด้วย ภาษาพื้นฐาน ภาษาที่ไม่มีบริบท ภาษาที่เครื่องจักรทัวร์ริ่งรู้จัก และภาษาที่เครื่องจักรทัวร์ริ่งตัดสินได้

ตัวอย่าง

เนื่องจากภาษาเป็นแบบรูปนัย จึงสามารถแสดงในรูปแบบสัญลักษณ์หรือนิพจน์ได้ตัวอย่างของนิพจน์หรือสัญลักษณ์ในการแสดงแทนภาษาได้แก่นิพจน์พื้นฐาน ไวยากรณ์ที่ไม่มีบริบท เป็นต้น

หนังสือเล่มนี้จะเน้นความเข้าใจในเรื่องทฤษฎีรูปแบบการคำนวณจึงครอบคลุมการพิสูจน์ในทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและจำเป็นแทบทุกทฤษฎีจึงเหมาะสำหรับนักศึกษาในระดับปริญญาเพื่อใช้ในการประกอบการเรียนในรายวิชาที่เกี่ยวข้อง สำหรับนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาในการเป็นพื้นฐานสำหรับการศึกษาเรื่องทฤษฎีความซับซ้อน และผู้สนใจในการเป็นหนังสืออ้างอิงในการศึกษาและเข้าใจในทฤษฎีการคำนวณ

ตัวอย่าง

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

ตัวอย่าง

บทที่ 4 ภาษาที่ไม่มีบริบท 101

4.1 การแปลงและภาษาของไวยากรณ์ 104

4.1.1 ลำดับการแปลงของตัวแปรที่ต้องแปลงต่อ 105

4.1.2 ต้นไม้แจงคำ 106

4.2 ความสับสนของไวยากรณ์ 109

4.3 ไวยากรณ์สำหรับภาษาพื้นฐาน 112

4.4 ไวยากรณ์ที่ไม่มีบริบท 119

4.5 รูปแบบการแสดงไวยากรณ์ 122

แบบฝึกหัด 130

บทที่ 5 เครื่องสถานะจำกัดแบบดันลง 133

5.1 เครื่องสถานะจำกัดแบบดันลงเชิงกำหนด 133

5.2 เครื่องสถานะจำกัดแบบดันลงเชิงไม่กำหนด 145

5.3 ความเท่าเทียมกันระหว่างไวยากรณ์ที่ไม่มีบริบทกับ
เครื่องสถานะจำกัดแบบดันลง 148

5.4 คุณสมบัติของภาษาที่ไม่มีบริบท 160

5.4.1 การไม่เป็นภาษาที่ไม่มีบริบท 160

5.4.2 การตรวจสอบคำในภาษา 165

แบบฝึกหัด 171

บทที่ 6 เครื่องจักรทัวร์ริ่ง 173

6.1 การนิยามรูปนัยสำหรับเครื่องจักรทัวร์ริ่ง 174

6.2 ประเภทของเครื่องจักรทัวร์ริ่ง 183

6.3 การนิยามรูปนัยสำหรับกระบวนการแก้ปัญหา 194

แบบฝึกหัด 198

บรรณานุกรม 199

ดัชนี 202

ตัวอย่าง

บทที่ 1
พื้นฐาน

ตัวอย่าง

เนื้อหาในบทนี้เราจะอธิบายพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ที่จำเป็นในการทำความเข้าใจเนื้อหาในบทต่อ ๆ ไป เรื่องที่จะศึกษาในส่วนนี้จะครอบคลุมในเรื่องของเซต ลำดับและคู่ลำดับ ฟังก์ชันและความสัมพันธ์ กราฟ คำและภาษา การพิสูจน์ในแบบต่าง 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 $\notin$ ใช้ในการแสดงการ*เป็นสมาชิก*และ*ไม่เป็นสมาชิก*ของวัตถุ ดังนั้นจากตัวอย่างเซต S เราจะได้ว่า $6 \in S$ และ $15 \notin S$ นอกจากนั้นลำดับและจำนวนครั้งของการปรากฏอยู่ในเซตของสมาชิกในเซต ไม่มีผลต่อการอธิบายเซต ตัวอย่างเช่น เซตทั้งสองต่อไปนี้คือเซตเดียวกัน

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

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

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

ตัวอย่าง

บทที่ 2

เครื่องสถานะจำกัด

ตัวอย่าง

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

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

จากลำดับข้างต้นจะเริ่มด้วย $MWGC$ ซึ่งอยู่ฝั่งเดียวกันของแม่น้ำ จากนั้นชาวไร่จะนำแพะข้ามแม่น้ำไปก่อน เมื่อถึงอีกฝั่งหนึ่งของแม่น้ำจะมีชาวไร่อยู่กับแพะของเขา ซึ่งแสดงได้ด้วยสัญลักษณ์ $WC\text{-}MG$ ลำดับเปลี่ยนแปลงไปเรื่อย ๆ จะกระทั่งไปสิ้นสุดเมื่อชาวไร่และ

สัมภาระของเขาได้อยู่อีกฝั่งหนึ่งของแม่น้ำ จะสังเกตได้ว่าไม่มีลำดับใดที่ขัดแย้งกับการทำให้สัมภาระมีความเสียหาย ซึ่งตัวอย่างของลำดับที่แสดงถึงความเสียหายได้แก่ MC-WG ซึ่งแกะอยู่ฝั่งเดียวกับหมาป่าตามลำพัง

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

ตัวอย่าง

บทที่ 3
ภาษาพื้นฐาน

ในบทนี้เราจะกล่าวถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของภาษาพื้นฐานโดยเริ่มที่ *นิพจน์พื้นฐาน* (Regular expression) ซึ่งเป็นนิพจน์สำหรับอธิบาย*ภาษาพื้นฐาน* (Regular language) นิพจน์ดังกล่าวจะมีความสามารถในการอธิบายภาษาได้เช่นเดียวกันกับเครื่องสถานะจำกัด ซึ่งเนื้อหาในส่วนนี้ก็จะครอบคลุมเรื่องการพิสูจน์การเท่าเทียมกันของนิพจน์พื้นฐานกับเครื่องสถานะจำกัดด้วย ต่อมาเราจะศึกษาภาษาที่ทั้งนิพจน์พื้นฐานและเครื่องสถานะจำกัดไม่สามารถอธิบายได้ หรืออีกนัยหนึ่งคือภาษาที่ไม่ใช่ภาษาพื้นฐาน การพิสูจน์ว่าภาษาที่กำหนดให้เป็นภาษาพื้นฐานหรือไม่เราจะอาศัยทฤษฎี Pumping lemma ช่วยในการพิสูจน์ นอกจากนั้นเราจะศึกษาตัวดำเนินการปิดสำหรับภาษาพื้นฐานเพื่อนำไปใช้ประโยชน์สำหรับตีความว่าภาษาที่พิจารณาเป็นภาษาพื้นฐานหรือไม่ด้วยเช่นกัน ในส่วนสุดท้ายของบทนี้ เราจะศึกษา*การลดทอนเครื่องสถานะจำกัด* (State minimization) ซึ่งจะมีประโยชน์ในการทดสอบว่า ภาษาพื้นฐานสองภาษาเป็นภาษาเดียวกันหรือไม่ เนื่องจากถ้าภาษาสองภาษามีเครื่องสถานะจำกัดเหมือนกันแสดงว่าเป็นภาษาเดียวกัน ดังนั้นถ้าเราลดทอนเครื่องสถานะจำกัดของสองภาษาแล้วมีลักษณะเหมือนกันแสดงว่าภาษาทั้งสองเป็นภาษาเดียวกัน

ตัวอย่าง

3.1 นิพจน์พื้นฐาน

กำหนดให้นิพจน์ทางคณิตศาสตร์ (Mathematical expression) นิพจน์หนึ่งเป็น $(5\times6)+4$ 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) ตัวดำเนินการในนิพจน์ปรกติจะมีเพียงแค่สามตัวเท่านั้นคือ *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

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

แสดงค่าของตัวดำเนินการปิดแบบควีนซึ่งเป็นเซตอนันต์ เกิดจากการเลือกสมาชิกใน L_1 ตั้งแต่ 0 ตัวเป็นต้นไปแล้วนำมาต่อกัน โดยการเลือกแต่ละครั้งเป็นอิสระต่อกัน

ตัวอย่าง

บทที่ 4
ภาษาที่ไม่มีบริบท

ตัวอย่าง

ในบทนี้เราจะศึกษา*ภาษาที่ไม่มีบริบท* (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 ถ้าเราเจอประโยคเราจะสามารถเขียนประโยคได้เป็นสองส่วนคือ 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

⟨Subject⟩ → The big dog

⟨Subject⟩ → The old dog

⟨Predicate⟩ → chased the cat

แล้วจาก ⟨Sentence⟩ → ⟨Subject⟩⟨Predicate⟩จะได้ ⟨Sentence⟩ สองรูปแบบคือ "The big dog chased the cat" และ "The old dog chased the cat" เนื่องจาก ⟨Subject⟩ สามารถเป็นได้สองรูปแบบ จากโครงสร้างข้างต้นเรายังสามารถแบ่งส่วนให้ย่อยลงมาเพื่อความชัดเจนในการอธิบายส่วนของประโยคดังนี้

⟨Sentence⟩ → ⟨Subject⟩⟨Predicate⟩

⟨Subject⟩ → ⟨Article⟩⟨Adjective⟩⟨Noun⟩

⟨Predicate⟩ → ⟨Verb⟩⟨Object⟩

⟨Object⟩ → ⟨Article⟩⟨Noun⟩

⟨Article⟩ → the

⟨Adjective⟩ → big

⟨Noun⟩ → cat

⟨Noun⟩ → dog

⟨Verb⟩ → chased

จะสังเกตได้ว่าตัวอักษรที่อยู่ในเครื่องหมาย ⟨⟩ จำเป็นต้องถูกเขียนแทนให้หมดเพื่อสร้างประโยคขึ้นมา ซึ่งเราจะเรียกตัวอักษรจำพวกนี้ว่า *ตัวแปรที่ต้องแปลงต่อ* (Non-terminal variable) ตัวอักษรอีกประเภทหนึ่งคือ ตัวอักษรที่ไม่ใช่ตัวแปรตัวอย่างเช่น the chased dog big และ cat เป็นตัวอักษรที่ไม่สามารถเขียนแทนได้อีก เราจะเรียกตัวอักษรประเภทนี้ว่า *ตัวแปรที่แปลงไม่ได้แล้ว* (Terminal variable)

ตัวอย่าง

บทที่ 5

เครื่องสถานะจำกัดแบบดันลง

ตัวอย่าง

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 โดยอาศัยหน่วยความจำช่วยในการจำลำดับของส่วน 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 และตัวแปรป้อนเข้าที่กำลังพิจารณา จากลักษณะการทำงานข้างต้นเราสามารถสรุปเป็นกฎการเปลี่ยนแปลงเป็นตารางได้ดังตารางที่ 5.1

ตัวอย่าง

บทที่ 6
เครื่องจักรทัวร์ริ่ง

ตัวอย่าง

เครื่องจักรทัวร์ริ่ง (Turing machine) [Turing, 1937] เป็นรูปแบบจำลองเครื่องจักรที่คิดค้นและนำเสนอขึ้นในปีคริสต์ศักราช 1936 โดย อลัน ทัวร์ริ่ง นักคณิตศาสตร์และนักวิทยาการคอมพิวเตอร์ชาวอังกฤษ มีลักษณะการทำงานเหมือนกับเครื่องจักรสถานะจำกัด (Finite Automata) แต่มีความสามารถมากกว่าตรงที่มีขนาดในการเก็บของข้อมูลที่ไม่จำกัด และวิธีการอ่านหรือบันทึกข้อมูลลงในที่เก็บข้อมูลไม่ได้ถูกจำกัดให้เป็นแบบลักษณะใดลักษณะหนึ่ง เช่น เดียวกันกับ*เครื่องจักรสถานะจำกัดแบบดันลง* (Push-Down automata) ซึ่งจำกัดให้การเข้าถึงข้อมูลต้องเป็นแบบเรียงซ้อนทับกันเท่านั้น

เครื่องคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันมีลักษณะการทำงานคล้ายกับการทำงานของเครื่องจักรทัวร์ริ่ง ทุกปัญหาที่คอมพิวเตอร์ในปัจจุบันสามารถแก้ได้เครื่องจักรทัวร์ริ่งก็สามารถแก้ได้ในทางกลับกันถ้าปัญหาที่เครื่องจักรทัวร์ริ่งสามารถแก้ได้คอมพิวเตอร์อาจไม่สามารถทำได้เนื่องจากขนาดของพื้นที่ในการเก็บข้อมูลที่จำกัด หรือระยะเวลาที่ต้องใช้ในการแก้ปัญหานั้นนานจนเกินไป ฉะนั้นถ้ามีปัญหาที่ไม่สามารถแก้ได้ด้วยเครื่องจักรทัวร์ริ่งจะสามารถสรุปได้ว่าคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันก็ไม่สามารถแก้ปัญหาได้เราจึงใช้เครื่องจักรทัวร์ริ่งในการศึกษาความยากของปัญหาสำหรับการคำนวณ ฉะนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเข้าใจในหลักการการทำงานของเครื่องจักรทัวร์ริ่งและรูปแบบต่าง ๆ ของเครื่องจักรทัวร์ริ่ง

6.1 การนิยามรูปนัยสำหรับเครื่องจักรทัวร์ริ่ง

เครื่องจักรทัวร์ริ่งประกอบไปด้วยสองส่วนที่สำคัญคือ เทปข้อมูลที่มีขนาดไม่จำกัดเปรียบเสมือนพื้นที่การเก็บข้อมูล และส่วนหัวอ่านซึ่งสามารถอ่านและเขียนตัวอักษรบนเทปข้อมูล โดยการทำงานเริ่มต้นของเครื่องจักรทัวร์ริ่งจะกำหนดให้เทปข้อมูลเก็บส่วนที่เป็นตัวแปรป้อนเข้าในส่วนต้นของเทป ในขณะที่ส่วนที่เหลือที่มีขนาดไม่จำกัดเป็นเพียงช่องว่างทั้งหมด เครื่องจักรทัวร์ริ่งจะหยุดการทำงานโดยการแสดงสถานะใดสถานะหนึ่งในสองสถานะนี้เท่านั้น คือ *ยอมรับ* (*Accept*) หรือ*ไม่ยอมรับ* (*Reject*) นอกจากสถานะเมื่อหยุดการทำงานแล้ว ข้อมูลที่ปรากฏในเทปก็ถือว่าเป็นผลลัพธ์ที่สร้างขึ้นด้วยเช่นกัน พิจารณาตัวอย่างปัญหาพร้อมทั้งแนวคิดการออกแบบเครื่องจักรทัวร์ริ่งในตัวอย่างที่ 6.1

ตัวอย่างปัญหา 6.1 กำหนดให้ภาษา L เป็นภาษาที่ประกอบไปด้วยตัวอักษรในเซต $\{a, b, c\}$ โดยที่ตัวอักษร c จะมีเพียงตัวเดียวในแต่ละคำและจะปรากฏอยู่ตรงกลางของคำในภาษาเสมอ นอกจากนั้นส่วนของคำที่ปรากฏอยู่ก่อนหน้า c จะเหมือนกันกับส่วนที่ตามหลังตัว c ซึ่งสามารถเขียนเซตของคำที่เป็นสมาชิกในภาษาได้ดังนี้

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

จงออกแบบเครื่องจักรทัวร์ริ่ง M สำหรับการตรวจสอบการเป็นสมาชิกของคำในภาษา L โดยที่ถ้าคำเป็นสมาชิกในภาษาให้เครื่องจักรทัวร์ริ่งหยุดการทำงานในสถานะยอมรับ และถ้าไม่ใช่คำในภาษาให้หยุดในสถานะไม่ยอมรับ

วิธีทำ กำหนดให้หัวอ่านของเครื่องจักรทัวร์ริ่งอยู่ที่ตำแหน่งแรกของตัวแปรป้อนเข้า ณ เวลาเริ่มต้นการทำงานของเครื่องจักรทัวร์ริ่ง และคำที่ต้องการตรวจสอบอยู่ในรูปแบบ w_1cw_2 โดยที่ w_1 เป็นส่วนของคำที่อยู่ก่อนตัวอักษร c ในขณะที่ w_2 คือส่วนของคำที่ตามหลัง c ลำดับการทำงานของเครื่องจักรทัวร์ริ่ง M สามารถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

ตัวอย่าง

แนะนำหนังสือ
กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า 1

ผู้แต่ง: ผศ.ดร.นิพัทธ์ จันทรมินทร์

ปีพิมพ์ : 1/2560

ตำราเล่มนี้อธิบายกฎและทฤษฎีต่าง ๆ ที่ใช้วิเคราะห์วงจรไฟฟ้า โดยเรียบเรียงเนื้อหาอย่างเป็นลำดับและเป็นเหตุเป็นผล ในแต่ละบทมีตัวอย่างโจทย์ที่แสดงวิธีทำเป็นขั้นตอนซึ่งอธิบายอย่างละเอียดเพื่อให้ผู้อ่านสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย รวมทั้งมีแบบฝึกหัดท้ายบทพร้อมคำตอบให้ผู้อ่านได้ฝึกฝนเพื่อเพิ่มทักษะในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า ตำราเล่มนี้มีเนื้อหาครบถ้วนตามที่ระบุโดยสภาวิศวกรสำหรับวิชา Electric Circuits ซึ่งเป็นหนึ่งในกลุ่มวิชาพื้นฐานทางวิศวกรรม ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกสถาบันการศึกษา เพื่อให้นิสิตนักศึกษามีคุณสมบัติครบถ้วนในการขอรับใบประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมในแขนงวิศวกรรมไฟฟ้ากำลังและในแขนงวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับรายวิชาในหลักสูตรอื่นที่เรียนพื้นฐานทางวิศวกรรมไฟฟ้า เช่น วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมเคมี และยังเหมาะกับผู้ที่ต้องการศึกษาด้วยตนเอง

ระบบควบคุม

ผู้แต่ง: ผศ.ดร.พนัส นัถฤทธิ์

ปีพิมพ์ : 1/2560

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

ตัวอย่าง

นาโนเทคโนโลยีเพื่อสิ่งแวดล้อม

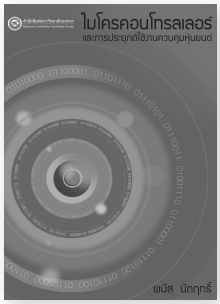
ผู้แต่ง: รศ.ดร.พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล

ปีพิมพ์ : 1/2557

แนวทางใหม่เชิงรุกการพัฒนาวิทยาการความก้าวหน้าของ
“นาโนเทคโนโลยี” สู่การประยุกต์ใช้ด้านสิ่งแวดล้อม

0 5596 8833-8836 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร nuph@nu.ac.th

NUPH online store
www.nupress.grad.nu.ac.th



ไมโครคอนโทรลเลอร์และการประยุกต์ใช้ในงานควบคุมหุ่นยนต์

ผู้แต่ง: ผศ.ดร.พนัส นัถฤทธิ์

ปีพิมพ์ : 1/2560

ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นระบบที่รวบรวมเอาคุณสมบัติและองค์ประกอบเกือบทุกอย่างของระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาไว้ภายในตัวไอซีเพียงตัวเดียว ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำไปใช้ในอุปกรณ์หรืองานควบคุมขนาดเล็ก เนื่องจากระบบคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปมักมีโครงสร้างขนาดใหญ่ หากนำมาใช้ในงานลักษณะดังกล่าวจะไม่คุ้มกับการลงทุน อีกทั้งยังส่งผลให้อุปกรณ์มีขนาดใหญ่ สิ้นเปลืองพื้นที่ในการติดตั้ง ปัจจุบันไมโครคอนโทรลเลอร์มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางทั้งในงานภาคอุตสาหกรรม การวิจัยเพื่อพัฒนาระบบควบคุมประเภทต่าง ๆ และการประยุกต์ใช้ในงานควบคุมหุ่นยนต์

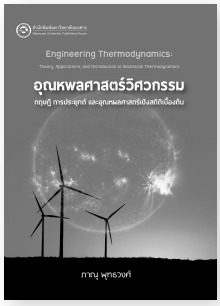
คาร์บอนกัมมันต์

Activated carbon

ผู้แต่ง: รศ.ดร.สัมฤทธิ์ โม้พวง

ปีพิมพ์ : 1/2558

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



อุณหพลศาสตร์วิศวกรรม: ทฤษฎี การประยุกต์ และอุณหพลศาสตร์เชิงสถิติเบื้องต้น

ผู้แต่ง: ดร.ภาณุ พุทธวงศ์

ปีพิมพ์ : 1/2560

หนังสือ “อุณหพลศาสตร์วิศวกรรม: ทฤษฎี การประยุกต์ และอุณหพลศาสตร์เชิงสถิติเบื้องต้น” เหมาะสำหรับนิสิตนักศึกษาสาขาวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมเคมี วิศวกรรมพลังงาน ฟิสิกส์พลังงาน รวมไปถึงวิศวกรและผู้สนใจที่ต้องการศึกษาอุณหพลศาสตร์ในเชิงลึก โดยเนื้อหาจะเชื่อมโยงการประยุกต์ใช้งานอุณหพลศาสตร์ทางวิศวกรรมกับทฤษฎีที่มีที่มาจากศาสตร์ทางฟิสิกส์ เช่น สมการสภาวะ ความสัมพันธ์ของสมบัติต่างๆ ทางอุณหพลศาสตร์ และยังรวมไปถึงอุณหพลศาสตร์เชิงสถิติเบื้องต้น ซึ่งเป็นการศึกษาอุณหพลศาสตร์ ในมุมมองจุลภาคเพื่อแสดงให้เห็นต้นทางของทฤษฎี ตั้งแต่กลศาสตร์ของอนุภาคกลศาสตร์ควอนตัมว่าถูกนำมาประยุกต์ใช้กับอุณหพลศาสตร์โดยมีความสอดคล้องกับอุณหพลศาสตร์ในมุมมองมหภาคอย่างไร

อุณหพลศาสตร์ ว่าด้วยหลักการโครงสร้าง และกระบวนทัศน์ยุคใหม่

ผู้แต่ง: รศ.ดร.บุรินทร์ กำจัดภัย

ปีพิมพ์ : 1/2558

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

ตัวอย่าง