



DIGITAL DESIGN
School of Computer Engineering

Suranaree University
of Technology

Digital Design

Paramate Horkaew

School of Computer Engineering, Institute of Engineering
Suranaree University of Technology



Assessments

- | | |
|------------------------------|-----|
| • Group Assignments/Homework | 10% |
| • Random QUIZ | 10% |
| • Midterm Exam | 30% |
| • Final Exam | 50% |

Text

Digital Design from Zero to One by J.D. Daniels

John Wiley & Sons, Inc, 1996

Prerequisites None

Contact & Questions: Paramate Horkaew, **B04** Academic Building



Course Outline

- Introduction to Digital System
 - Truth Table and Boolean Algebra
 - Methods for Minimizing Boolean Expression
 - Programmable Circuits
 - Sequential Flip-Flops
-
- Synchronous Counters
 - Synchronous Finite State Machine
 - A/D and D/A Conversion
 - Asynchronous Sequential Circuit Design
 - Practical Digital Designs (Part I Arithmetic Operations)
 - Practical Digital Designs (Part II Microprocessor)
 - Practical Digital Designs (Part III Data Communication)



DIGITAL DESIGN
School of Computer Engineering

Suranaree University
of Technology

Lecture 1 Introduction

Paramate Horkaew

School of Computer Engineering, Institute of Engineering
Suranaree University of Technology



Lecture Outline

- Discrete Systems
- Symbol Representation
- Base-2 Number and Conversions
- Quantization
- Simple Binary Arithmetic Operations
- Switches and Basic Gates



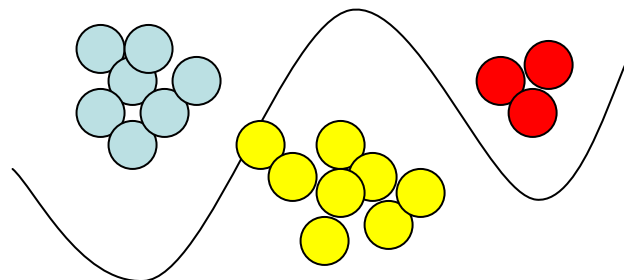
Discrete System

Digitization

นิยาม การแสดงค่า สัญลักษณ์ โดย การแบ่งจำพวก ออกเป็นกลุ่ม
ย่อยๆ

ในที่นี้ การ Digitization จะหมายถึง กระบวนการแสดงสัญลักษณ์
ที่เป็นตัวเลข (Numerical Digitization) ซึ่งทำได้โดยการ ปัดเศษ
จำนวนจริง ให้เป็นจำนวนเต็ม

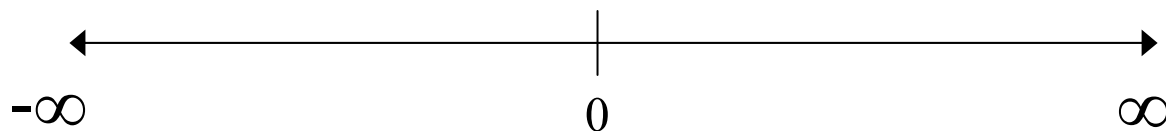
ตัวอย่างการทำ Digitization





Numerical Digitization

Numerical Digitization คือการแบ่งเส้นจำนวนจริงซึ่งมีจำนวนตัวเลขเป็นอนันต์ (Continuous Value or Analog) ออกเป็นช่วงย่อยๆ จำนวนจำกัด (Discrete Value or Digital)



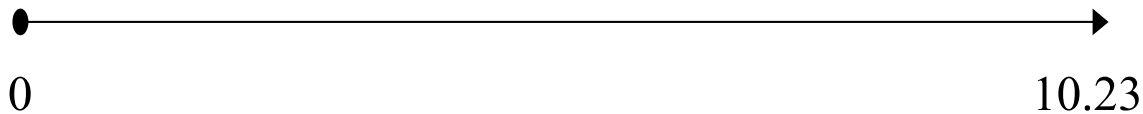
มีองค์ประกอบสองส่วนได้แก่

- **Discretization** คือ การแบ่งค่าต่อเนื่องออกเป็นช่วงย่อยๆ
- **Quantization** คือ การแทนค่าที่อยู่ในช่วงใดๆ ด้วยตัวเลข (Digit) ประจำช่วงนั้น โดยที่ค่าประจำช่วงมีค่าใกล้เคียงกับค่าเดิมมากที่สุด

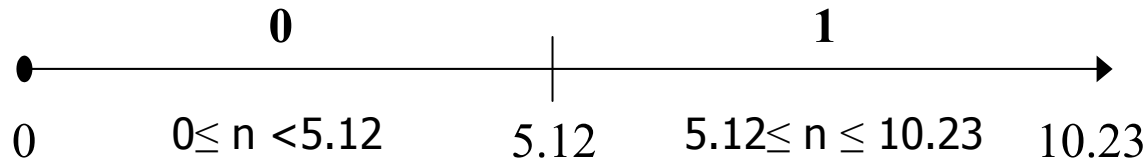


Discretization

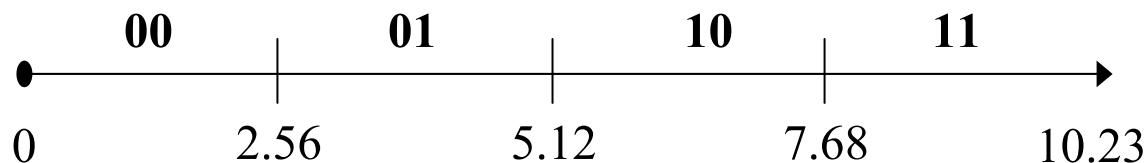
ตัวอย่าง เส้นจำนวนจริงตั้งแต่ 0 ถึง 10.23



แบ่งออกเป็นสองช่วง



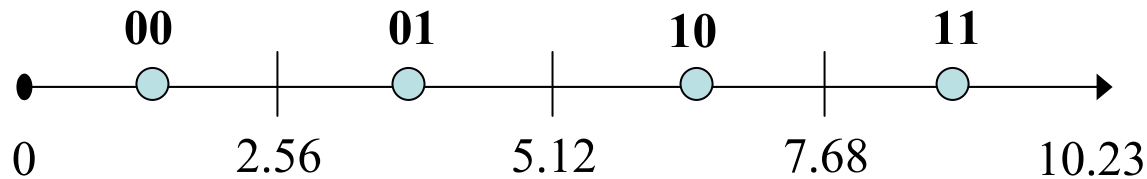
แบ่งต่อไปอีก (ไม่จำกัด)





Quantization

ขั้นตอนนี้จะแทนตัวเลขที่อยู่ในแต่ละช่วงด้วยตัวเลขฐานสอง
ประจำช่วง ซึ่งมีค่าประจำช่วงเท่ากับค่ากึ่งกลางช่วงนั่นเอง



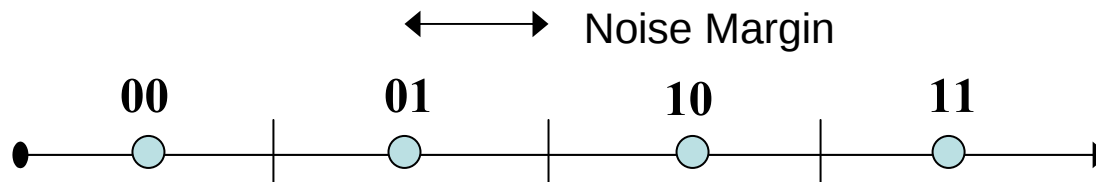
ตัวอย่างเช่น ค่าจำนวนจริงใดๆ ระหว่าง 2.56 ถึง 5.12 จะแทนได้
ด้วยสัญลักษณ์ 01 ซึ่งมีค่าประจำหลักเป็น $0.5 * (2.56+5.12)$ หรือ
3.84

ในทางดิจิทัลตัวเลข 0 และ 1 เรียกว่า Bit หรือ **Binary Digit**



Advantages of Digital Number

ทนต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าสัญญาณอนาลอก



แสดงผลค่าด้วยความแม่นยำสูง ยากที่จะทำได้ด้วยวงจรอนาลอก
เช่นค่า π สามารถแสดงได้ด้วย 11.0010 0100 0011 1111 0110

ข้อมูลดิจิทัลสามารถจัดเก็บและประมวลผลได้ง่ายกว่า และ
ประหยัดกว่าแบบอนาลอก

การคำนวณสามารถนำพีชคณิต Boolean มาประยุกต์ใช้ได้ อย่าง
สะดวก นำไปสู่การประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย (Digital Design)



Symbols Representation

ในที่นี้ Symbol (สัญลักษณ์) หมายถึง สิ่งใดๆ ที่ไม่ใช่ตัวเลข

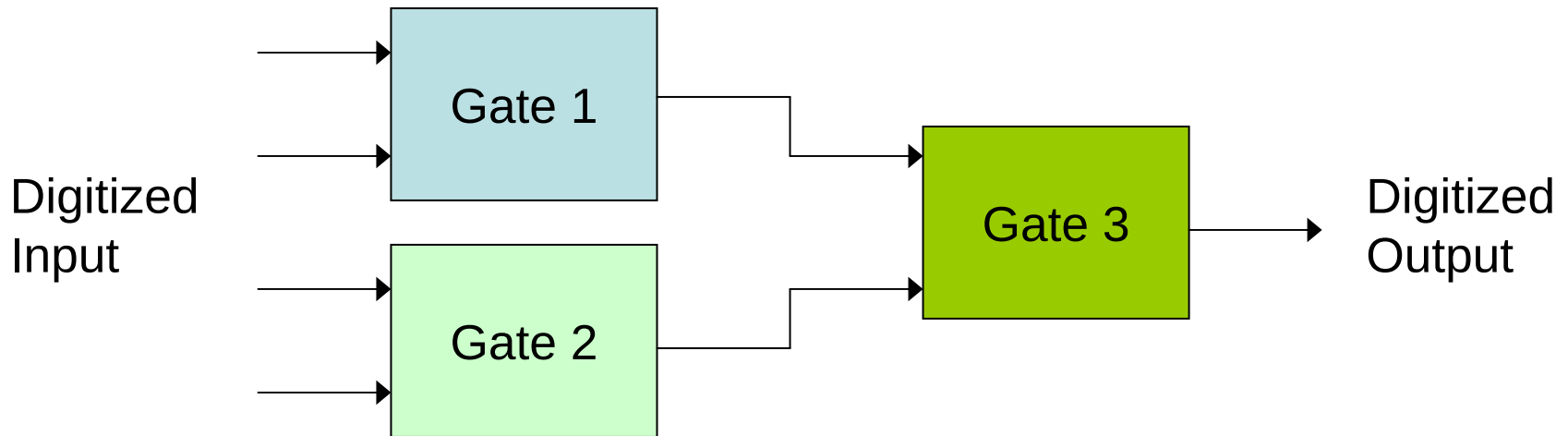
Representation หมายถึง การแสดง สิ่งที่มีความสำคัญ ด้วยสิ่งที่สะดวกกว่า เช่น แทน จำนวนนับ ด้วย นิ้วมือ

ในทางดิจิทัล เราจะใช้ Switch เป็นตัวแทน การทำงานเฉพาะใดๆ โดยที่ Switch จะมีสองสถานะ คือ เปิด (0) และ ปิด (1)

Gates คือวงจรขนาดเล็ก ที่ประกอบด้วย Switch (มักทำจากทรานซิสเตอร์) หลายๆ ตัวทำงานร่วมกัน ซึ่งให้สถานะ เอาท์พุท เป็น 0 หรือ 1

Digital Gates

ตัวอย่างของ Gates ซึ่งนำมาต่อกัน



Encoding เพราะเลข 0/1 หนึ่งหลัก สามารถแสดงได้เพียง 2 สถานะ ดังนั้น หากต้องการแทนสัญลักษณ์ยาวๆ จะต้องใช้เลขหลาย Bits มาต่อกัน ซึ่งถ้าคิดว่าแต่ละหลักแทนเหรียญ 2 หน้า โยนเหรียญ N เหรียญจะเกิดรูปแบบที่ไม่ซ้ำกัน 2^N แบบ ดังนั้น เลข N หลัก จะแทนค่า ได้แตกต่างกัน 2^N สถานะ



Base-2 Numbers

Cipher คือตัวเลขที่เป็นสมาชิกของเซต ที่ประกอบขึ้นเป็นเลขฐานใดๆ ตัวอย่างเช่น ฐาน 10 จะมี Cipher เป็น $\{0, 1, 2, 3, \dots, 9\}$

ดังนั้น เลขฐานสอง มี Cipher คือ $\{0, 1\}$

เลขฐาน เป็นการ เข้ารหัส (Encoding) แบบอ้างอิงตำแหน่ง (Positional Code) ของกลุ่มตัวเลข ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยสมการรหัส โดยที่ P และ B แทนตัวเลขแต่ละหลัก และ ฐาน

$$D = \sum_{i=0}^{i_{\max}} P_i B^i$$



Examples

เลข 1067 ฐาน 10 มีค่าเท่ากับ

$$1 \times 10^3 + 0 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 7 \times 10^0$$

เลข 1011 ฐาน 2 มีค่าเท่ากับ

$$1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = (8 + 2 + 1)_{10}$$

เลข 365 ฐาน 8 มีค่าเท่ากับ

$$3 \times 8^2 + 6 \times 8^1 + 5 \times 8^0 = (192 + 48 + 5)_{10}$$



Binary Coded Decimal

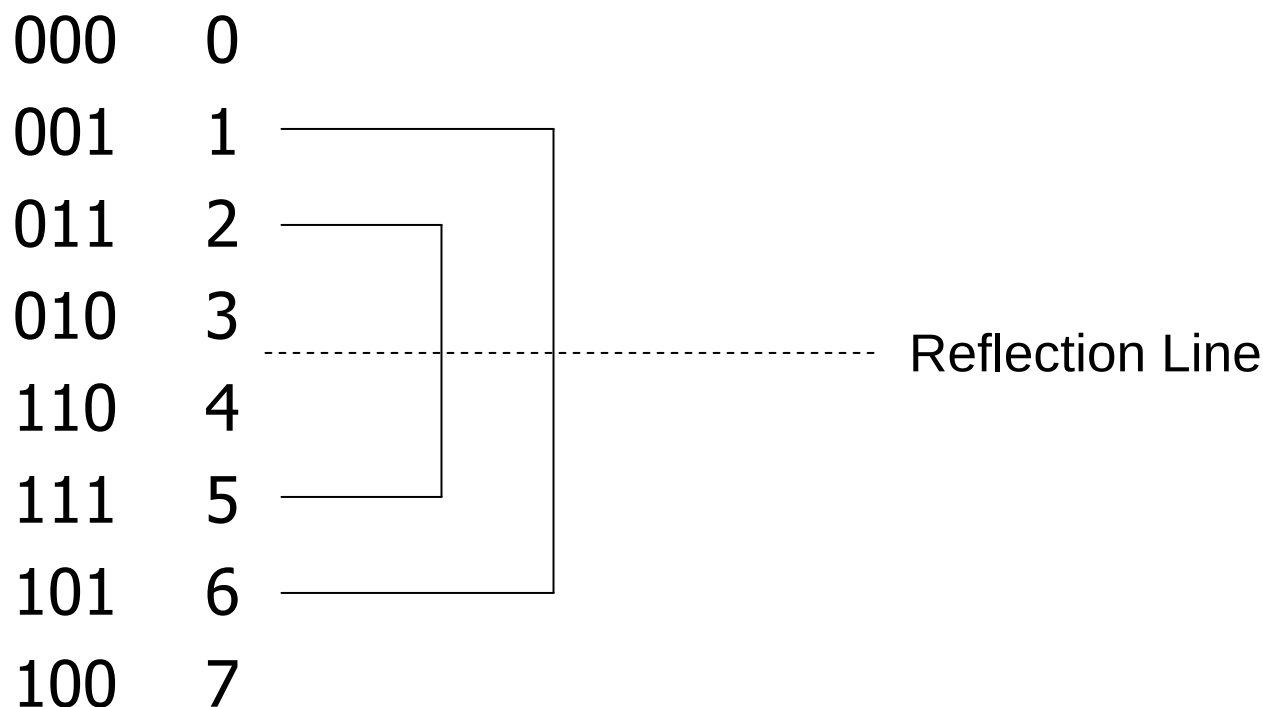
BCD เป็นการแสดง เลขฐาน 10 ในแต่ละหลัก ด้วยเลขฐาน 2
ขนาด 4 บิต

	Decimal	Binary	Hexadecimal
Octal	0	0000	0
	1	0001	1
	2	0010	2
	3	0011	3
	4	0100	4
	5	0101	5
	6	0110	6
	7	0111	7
BCD	8	1000	8
	9	1001	9
	10	1010	A
	11	1011	B
	12	1100	C
	13	1101	D
	14	1110	E
	15	1111	F



Gray Code

คือ รหัสเลขฐานสองซึ่งจำนวนที่ติดกันจะมีการเปลี่ยนแปลงเลขเพียง 1 หลัก (บิต) เท่านั้น ตัวอย่าง Gray Code ขนาด 3 บิต





Conversion between Base 2, 8, 16

เนื่องจากเลขฐาน 8 และ 16 ขนาด 1 หลัก สามารถแสดงได้ด้วยเลขฐาน 2 ขนาด 3 และ 4 หลัก ตามลำดับ ดังนั้น การแปลง เลขระหว่าง กัน สามารถทำได้อย่างง่าย โดยการ จัดแบ่งกลุ่มเลขฐาน 2 ออกเป็น กลุ่มๆ เริ่มจากหลักน้อยที่สุด แล้วแปลงทีละหลัก

ตัวอย่าง 100001101

100 001 101 คือเลข 415 ฐาน 8 หรือ

1 0000 1101 คือเลข 10D ฐาน 16

เลข FA0 ฐาน 16 คือ 1111 1010 0000 ฐาน 2



Base-2 to Base-10 Conversion

ตัวอย่างบนวิดีโอ

- เลขฐาน 2 เป็นฐาน 10
- เลขฐาน 8 เป็นฐาน 10
- เลขฐาน 16 เป็นฐาน 10
- เลขเศษส่วนฐาน 2 เป็นฐาน 10



Base-10 to Base-2 Conversion

มีอยู่สองวิธีได้แก่ - ตัวอย่างบนวิดีโอ

Repeated Subtraction

ลบตัวเลขที่มีกำลังมากที่สุดไปเรื่อยๆ จนกว่าค่าสุดท้ายจะเป็น 0

$$DEC_{i+1} = DEC_i - 2^{EXPO} \quad \text{โดยที่ } DEC_i \geq 2^{EXPO}$$

Repeated Division

หารทั้งสองข้างด้วย 2

หารผลลัพธ์ไม่รวมเศษด้วย 2

$$D = \sum_{k=0}^{N-1} B_k \cdot 2^k$$

$$\frac{D}{2} = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{N-1} B_k \cdot 2^k = \left(\sum_{k=1}^{N-1} B_k \cdot 2^{k-1} \right) + B_0 = \left(\sum_{k=0}^{N-2} B_{k+1} \cdot 2^k \right) + B_0$$


$$\left(\sum_{k=0}^{N-3} B_{k+2} \cdot 2^k \right) + B_1$$



Conversion of Fractions

Repeated Subtraction

คล้ายกับการแปลงเลขจำนวนเต็ม

Repeated Multiplication

- คูณเลขเศษส่วนฐาน 10 ด้วยสอง ผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่า $0 \leq R \leq 2$
- ถ้าผลลัพธ์ที่ได้มีค่า มากกว่าหรือเท่ากับ 1 ค่าทศนิยมฐานสอง ณ ตำแหน่งนั้น มีค่าเป็น 1 แล้วลบผลลัพธ์ด้วย 1 ทำซ้ำขั้นตอนแรก สำหรับตำแหน่งถัดไป (ทางขวามือ)
- แต่ถ้าผลลัพธ์ที่ได้มีค่า น้อยกว่า 1 ค่าทศนิยมฐานสอง ณ ตำแหน่งนั้น มีค่าเป็น 0 ทำซ้ำขั้นตอนแรก สำหรับตำแหน่งถัดไป

ถ้าผลลัพธ์ที่ได้ไม่เป็นศูนย์เราจะหยุด ณ ตำแหน่งที่มีความละเอียดตามที่กำหนดไว้ (ตำแหน่งที่ N) เรียกว่า การตัดเศษ (Truncation)

การปัดเศษ (Rounding) ถึงตำแหน่งที่ N ทำได้โดยคำนวณถึง ตำแหน่งที่ N+1 แล้วบวกผลลัพธ์ที่ได้ด้วยเลขเศษส่วนที่เป็นศูนย์ทั้งหมดยกเว้นตำแหน่ง N+1 แล้วทำ Truncation



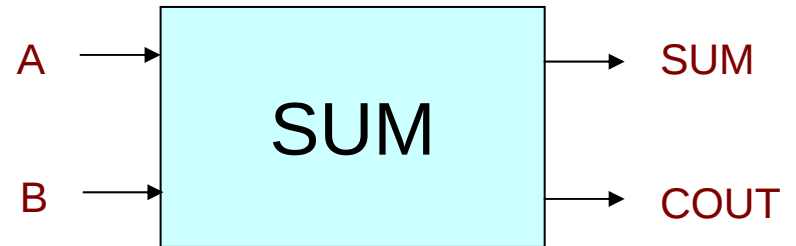
Half Adder

การบวกเลขฐาน 2 เหมือนกับเลขฐาน 10 คือการบวกแบบมีตัวทด

$$\begin{array}{r} 1111\ 111 \\ 1010.1011 \\ 1101.0101 \\ \hline 1\ 1000.0000 \end{array}$$

CIN

COUT

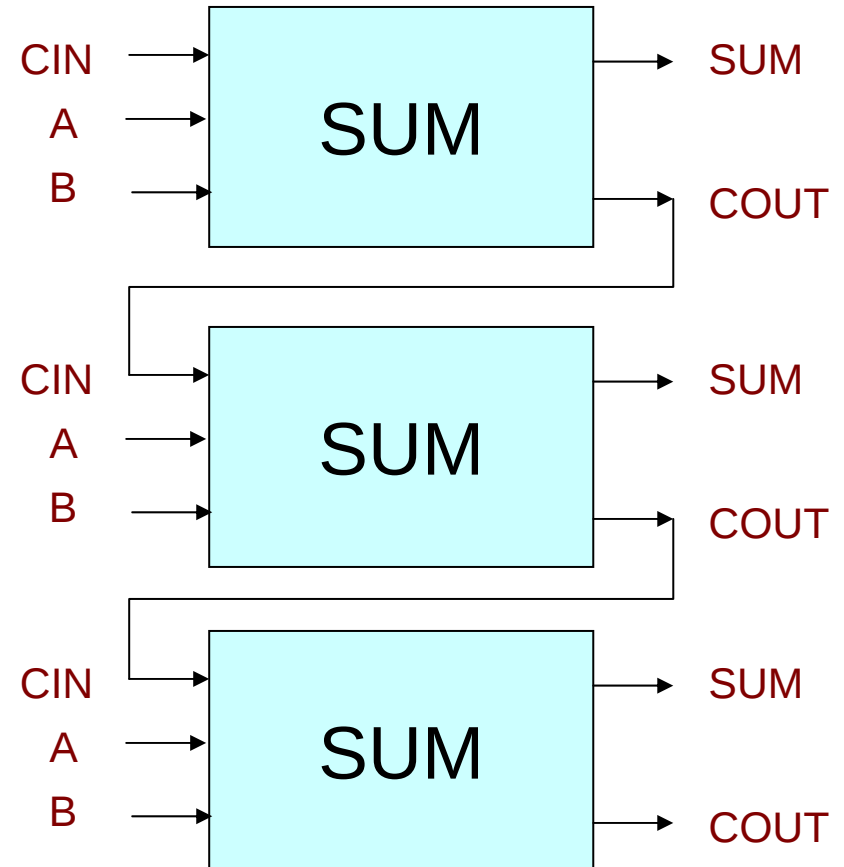


B	A	SUM	COUT
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Full Adder

Full Adder คือการบวกแบบมีตัวทดเข้า สามารถนำมาต่อกันได้

CIN	B	A	SUM	COUT
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1





Switches and Gates

Next Lecture