

SNU 046.016 컴퓨터과학이 여는 세계(Computational Civilization)

Part II

Prof. Kwangkeun Yi

Department of Computer Science & Engineering

차례

- 1 400년의 축적
- 2 그 도구의 실현
- 3 SW, 지혜로 짓는 세계
- 4 응용: 인간 지능/본능/현실의 확장

이전

- 1 400년의 축적
- 2 그 도구의 실현
- 3 SW, 지혜로 짓는 세계
- 4 응용: 인간 지능/본능/현실의 확장

다음

- 1 400년의 축적
- 2 그 도구의 실현
- 3 SW, 지혜로 짓는 세계
- 4 응용: 인간 지능/본능/현실의 확장

또다른 100여년의 선분

1854 – 1937 – 1947

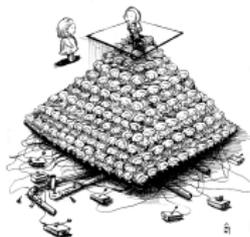
Boole, Shannon, von Neumann, Turing, electrical engineers



(사진출처: Google)

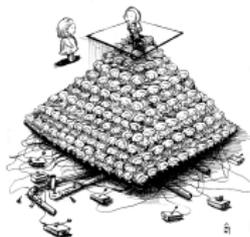
컴퓨터 구현의 풍경

- ▶ 간단했던 “기계적인 계산”의 실체(튜링기계)
- ▶ 그 실현또한: 간단한 것들로 차곡차곡 쌓아올려짐



컴퓨터 구현의 풍경

- ▶ 간단했던 “기계적인 계산”의 실체(튜링기계)
- ▶ 그 실현또한: 간단한 것들로 차곡차곡 쌓아올려짐



- ▶ 모든 부품을 디지털 논리회로로 구현가능

컴퓨터 구현의 풍경

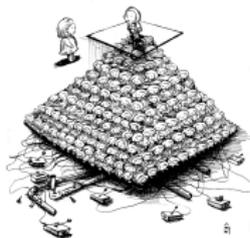
- ▶ 간단했던 “기계적인 계산”의 실체(튜링기계)
- ▶ 그 실현또한: 간단한 것들로 차곡차곡 쌓아올려짐



- ▶ 모든 부품을 디지털 논리회로로 구현가능
- ▶ 모든 디지털 논리회로는 AND, OR, NOT으로 구성됨

컴퓨터 구현의 풍경

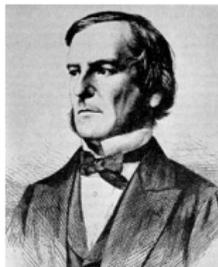
- ▶ 간단했던 “기계적인 계산”의 실체(튜링기계)
- ▶ 그 실현또한: 간단한 것들로 차곡차곡 쌓아올려짐



- ▶ 모든 부품을 디지털 논리회로로 구현가능
- ▶ 모든 디지털 논리회로는 AND, OR, NOT으로 구성됨
- ▶ AND, OR, NOT은 스위치들로 구현가능
- ▶ 모든 스위치는 직렬, 병렬, 뒤집기로 구성됨
- ▶ 스위치는 어떤 흐름을 제어하고
- ▶ 흐르는 실체는 전기/물/빛/힘등이며, 0 혹은 1을 뜻하는 신호를 전달

부울(George Boole)

생각의 법칙에 대한 탐구 “Boolean Logic” “Boolean Algebra”



An Investigation of the Laws of Thought, 1854

- ▶ 생각은 조립식
- ▶ 세 가지 조립방법: 그리고(and), 또는(or), 아닌(not)

(사진출처: Google)

부울대수/부울논리(Boolean Algebra/Boolean Logic)

참(1)과 거짓(0)에 대한 “대수”

$$A + (B + C) = (A + B) + C$$

$$A + B = B + A$$

$$A(B + C) = (AB) + (AC)$$

$$A1 = A$$

$$AA = A$$

$$A(A + B) = A$$

$$A0 = 0$$

$$A(-A) = 0$$

$$(-A) + (-B) = -(AB)$$

$$-(-A) = A$$

$$A(BC) = (AB)C$$

$$AB = BA$$

$$A + (BC) = (A + B)(A + C)$$

$$A + 0 = A$$

$$A + A = A$$

$$A + (AB) = A$$

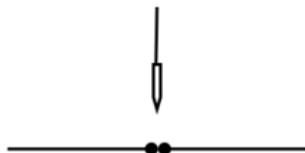
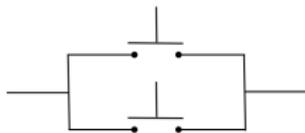
$$A + 1 = 1$$

$$A + (-A) = 1$$

$$(-A)(-B) = -(A + B)$$

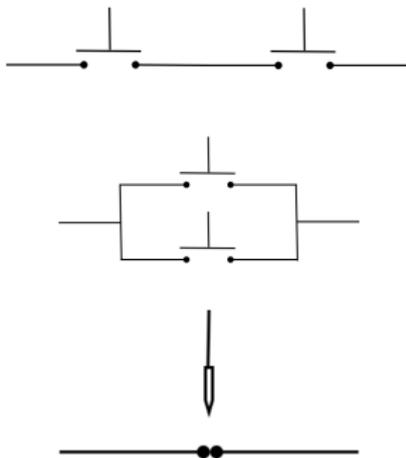
한편, 스위치 회로

0과 1을 가지고 노는 회로



한편, 스위치 회로

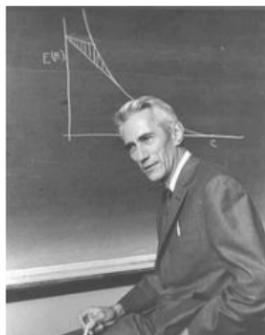
0과 1을 가지고 노는 회로



여러 자연현상으로 구현가능:

- ▶ 전기와 전기줄, 물과 수도관, 힘과 막대 등등

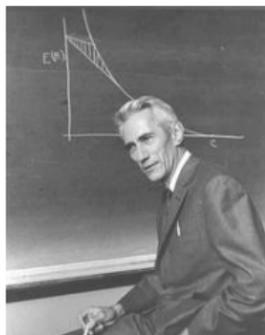
스위치 회로 = 부울 논리(Boolean logic)



Claude Shannon(1916 – 2001)

- ▶ *A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*, 1937, MIT 석사 논문
 - ▶ 발견: 스위치 회로 = 부울 논리(Boolean logic)
 - ▶ 디지털 논리(digital logic)회로
 - ▶ "역사상 가장 영향력있는 석사논문"

스위치 회로 = 부울 논리(Boolean logic)



Claude Shannon(1916 – 2001)

- ▶ *A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*, 1937, MIT 석사 논문
 - ▶ 발견: 스위치 회로 = 부울 논리(Boolean logic)
 - ▶ 디지털 논리(digital logic)회로
 - ▶ "역사상 가장 영향력있는 석사논문"
- ▶ Information Theory 창시자
 - ▶ "A Mathematical Theory of Communication", Bell System Technical Journal 27(3):379-423, 1948, Bell Labs
 - ▶ "Magna Carta of information age"

디지털 논리회로도 C

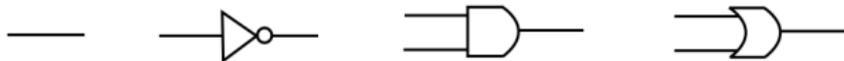
- ▶ 텍스트로

- ▶ 문법: $C := x \mid \bar{C} \mid C + C \mid CC \mid (C)$

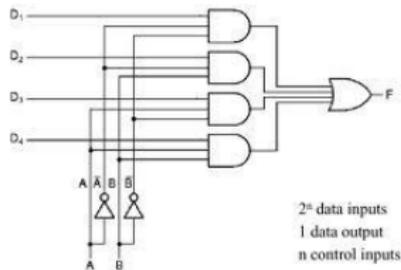
- ▶ 예: $x + (y\bar{z} + z)$

- ▶ 그림으로

- ▶ 문법:



- ▶ 예:



디지털 논리회로 만들기: 제어(control)

모두 스위치 회로로 구현가능

디지털 논리회로 만들기: 제어(control)

- ▶ 두개가 같은지 다른지 판단하기

모두 스위치 회로로 구현가능

디지털 논리회로 만들기: 제어(control)

- ▶ 두개가 같은지 다른지 판단하기
- ▶ 가위바위보 누가이겼나 판단하기

모두 스위치 회로로 구현가능

디지털 논리회로 만들기: 제어(control)

- ▶ 두개가 같은지 다른지 판단하기
- ▶ 가위바위보 누가이겼나 판단하기
- ▶ 둘중하나 결정하기 (“multiplexer”)

모두 스위치 회로로 구현가능

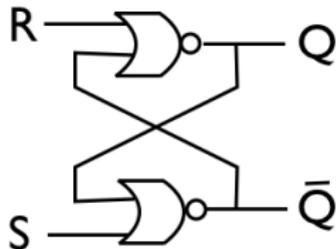
디지털 논리회로 만들기: 제어(control)

- ▶ 두개가 같은지 다른지 판단하기
- ▶ 가위바위보 누가이겼나 판단하기
- ▶ 둘중하나 결정하기 (“multiplexer”)
- ▶ 번호부르면 응답하기 (“decoder”)

모두 스위치 회로로 구현가능

디지털 논리회로 만들기: 메모리(memory)

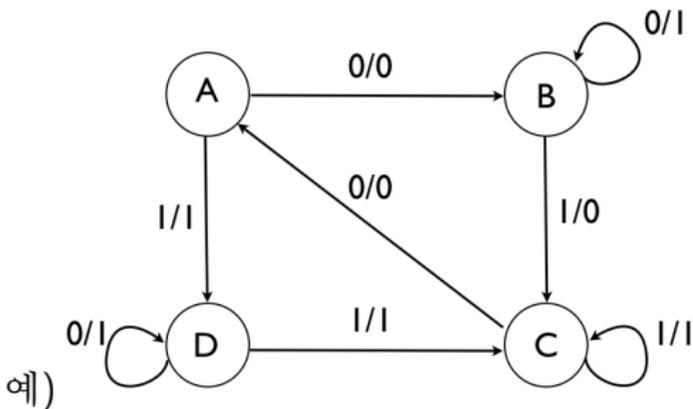
- ▶ 기억하고 있기 (“flip-flop”)
 - ▶ 스위치회로 발명: 1918, William Eccles and Frank Jordan



- ▶ $R=0, S=1$ 이면 $Q=1$ (1 쓰기)
- ▶ $R=0, S=0$ 이면 $Q=1$ (기억하고있기)
- ▶ $R=1, S=0$ 이면 $Q=0$ (0 쓰기)
- ▶ $R=0, S=0$ 이면 $Q=0$ (기억하고있기)

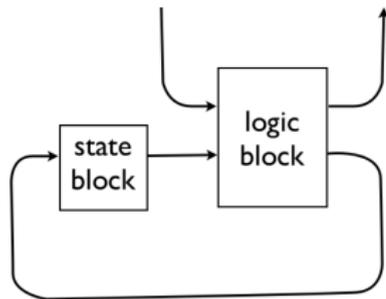
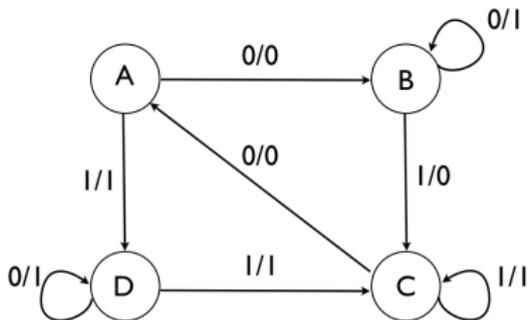
디지털 논리회로 만들기: 유한상태기계(1/2)

“Finite State Machine”: 유한개의 상태 + 입/출력.

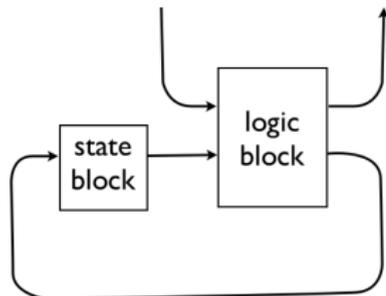
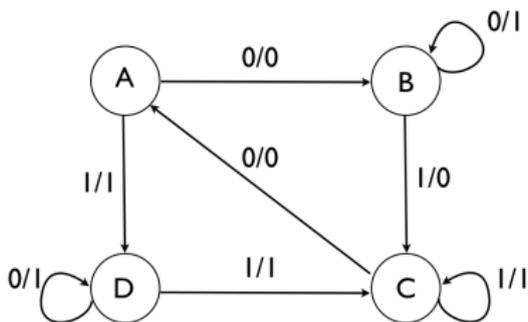


- ▶ 매번, 입력받고 출력내놓기
- ▶ 입력 = (현재 상태, 입력값)
- ▶ 출력 = (다음 상태, 출력값)
- ▶ 현재 상태 = 지난번의 다음 상태. 기억필요.

디지털 논리회로 만들기: 유한상태기계(2/2)

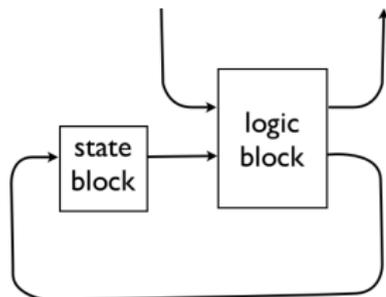
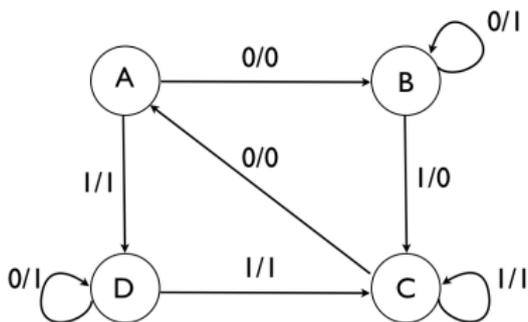


디지털 논리회로 만들기: 유한상태기계(2/2)



입력	출력
A 0	0 B
A 1	1 D
B 0	1 B
B 1	0 C
C 0	0 A
C 1	1 C
D 0	1 D
D 1	1 C

디지털 논리회로 만들기: 유한상태기계(2/2)



입력	출력
A 0	0 B
A 1	1 D
B 0	1 B
B 1	0 C
C 0	0 A
C 1	1 C
D 0	1 D
D 1	1 C

- ▶ 인코딩: A(00), B(01), C(10), D(11)
- ▶ “state block”: 두개의 flip-flop으로 기억

컴퓨터 구현의 원리

속내용을 감추며 차곡차곡 쌓기 *abstraction hierarchy*

복잡한 물건을 쉽고 짜임새있게 차곡차곡 만드는 지혜

컴퓨터 구현의 원리

속내용을 감추며 차곡차곡 쌓기 *abstraction hierarchy*

- ▶ 속내용 감추기 *abstraction*
 - ▶ 감추기: 어떻게 만든 것인지는
 - ▶ 알리기: 어떻게 사용하는지만
 - ▶ 부품의 속내용 감추기

복잡한 물건을 쉽고 짜임새있게 차곡차곡 만드는 지혜

컴퓨터 구현의 원리

속내용을 감추며 차곡차곡 쌓기 *abstraction hierarchy*

- ▶ 속내용 감추기 *abstraction*

- ▶ 감추기: 어떻게 만든것인지는
- ▶ 알리기: 어떻게 사용하는지만
- ▶ 부품의 속내용 감추기

- ▶ 차곡차곡 쌓기 *hierarchy*

- ▶ 속내용 감추기가 모든 계층에서 준비됨
- ▶ 각 단계에서 바로 아래 단계의 물건들만 사용
- ▶ 최종적인 목표물이 제일 윗 단계에서 만들어짐

복잡한 물건을 쉽고 짜임새있게 차곡차곡 만드는 지혜

규칙표 장치 만들기: 유한상태기계 + 메모리

A	□	:	>	B
B	□)	>	A

규칙표 장치 만들기: 유한상태기계 + 메모리

A	□	:	>	B
B	□)	>	A

- ▶ 모든 심볼을 0과 1로 표현:

심볼		상태		움직임			
□	→	11	A →	0	>	→	01
:	→	00	B →	1	<	→	10
)	→	01				→	00

규칙표 장치 만들기: 유한상태기계 + 메모리

A	□	:	>	B
B	□)	>	A

- ▶ 모든 심볼을 0과 1로 표현:

심볼	상태	움직임
□ → 11	A → 0	> → 01
: → 00	B → 1	< → 10
) → 01		→ 00

- ▶ 규칙표 장치가 하는 일: 입력에 대한 출력

현상태	입력		출력				다음상태
	읽은심볼	쓸심볼	다음칸	다음칸	다음칸		
S	I_0	I_1	O_0	O_1	D_0	D_1	S'
0	1	1	0	0	0	1	1
1	1	1	0	1	0	1	0

규칙표 장치 만들기: 유한상태기계 + 메모리

A	□	:	>	B
B	□)	>	A

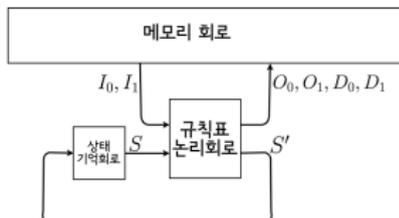
- ▶ 모든 심볼을 0과 1로 표현:

심볼	상태	움직임
□ → 11	A → 0	> → 01
: → 00	B → 1	< → 10
) → 01		→ 00

- ▶ 규칙표 장치가 하는 일: 입력에 대한 출력

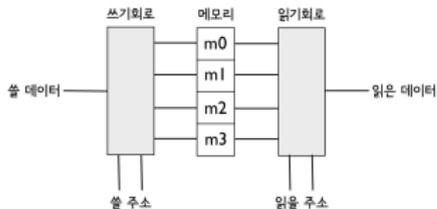
입력		출력					
현상태	읽은심볼		쓸심볼		다음칸	다음상태	
S	I_0	I_1	O_0	O_1	D_0	D_1	S'
0	1	1	0	0	0	1	1
1	1	1	0	1	0	1	0

- ▶ “규칙표 논리회로” 구성 = 유한상태기계 + 메모리



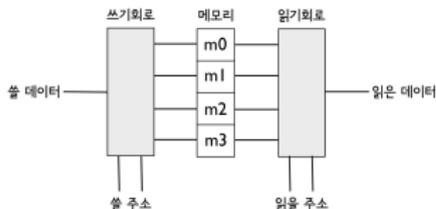
메모리 장치 만들기

▶ 장치 구성

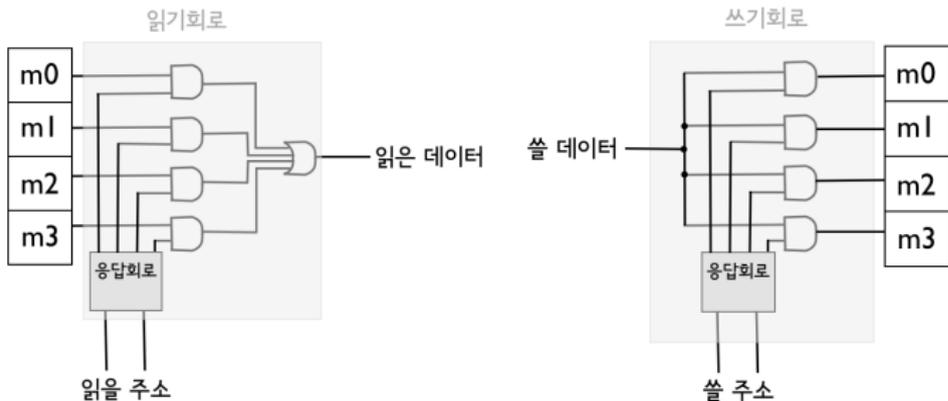


메모리 장치 만들기

▶ 장치 구성



▶ 읽기회로와 쓰기회로



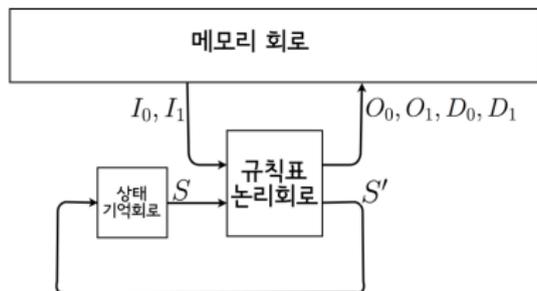
보편만능의 기계: von Neumann의 설계



John von Neumann(1903–1957)

- ▶ *First Draft of a Report on the EDVAC*, John von Neumann, 1945
- ▶ 메모리는 주소로 직접 접근
- ▶ 메모리에 실행 프로그램: load, store, arithmetic operators, jump 등 명령문들의 일렬

폰노이만 기계 = 튜링의 보편만능의기계

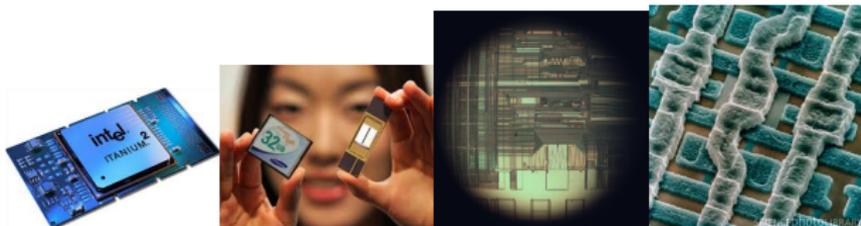


엄격한 증명은 없지만, 명백히

- ▶ 폰노이만 기계의 작동은 튜링 기계로 표현가능
- ▶ 튜링기계의 작동은 폰노이만 기계로 표현가능

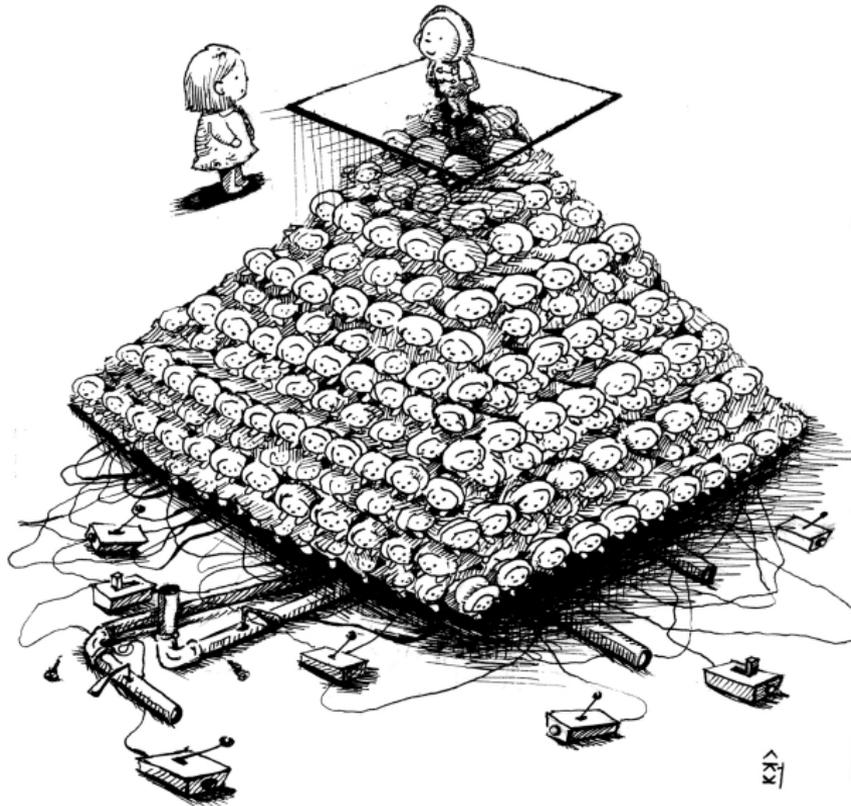
(무한한 메모리만 있다면)

지금(2010년대)의 제품



- ▶ 흐르는 실체: 전기
- ▶ 스위치 속도와 집적도
 - ▶ $k \times 10^9$ 변/초 ($\sim 5.2\text{GHz}$)
 - ▶ $n \times 10^9$ 개/손톱면적
- ▶ 재료: 모래와 금속
- ▶ 효율: 방문열고닫기를 말 한마리가 필요(!)

미래: 더좋은 실체(빛, DNA, 화합물, 양자), 더좋은 효율



△
X

다음

- 1 400년의 축적
- 2 그 도구의 실현
- 3 SW, 지혜로 짓는 세계
- 4 응용: 인간 지능/본능/현실의 확장

다음

- 1 400년의 축적
- 2 그 도구의 실현
- 3 SW, 지혜로 짓는 세계
- 4 응용: 인간 지능/본능/현실의 확장