

## 論理回路

第3回 論理回路の簡略化  
— カルノー図

<http://www.info.kindai.ac.jp/LC>  
E館3階E-331 内線5459  
takasi-i@info.kindai.ac.jp

1

## 回路の設計・解析

論理変数 → 論理演算 → 演算結果

入力信号 (直流電圧) → 論理ゲート → 出力信号 (直流電圧)

$f(X, Y, Z)$   
 $= X \cdot Y + \bar{X} \cdot Z$

2

## 回路の設計

1. 各論理演算を論理ゲートに変換
  - $\bar{X} \rightarrow$  NOTゲート
  - $X \cdot Y \rightarrow$  ANDゲート
  - $X + Y \rightarrow$  ORゲート
2. 論理ゲートを配置
  - 入力側から出力側に向かって
  - 演算順位の高いゲート → 低いゲートの順に配置・配線

3

## 回路の設計

■ 例題

$f(X, Y) = X \cdot Y + \bar{X} \cdot \bar{Y}$  を設計

1.  $\bar{X}, \bar{Y} \rightarrow$  NOTゲートに
2.  $X \cdot Y, \bar{X} \cdot \bar{Y} \rightarrow$  ANDゲートに
3.  $X \cdot Y + \bar{X} \cdot \bar{Y} \rightarrow$  ORゲートに

4

## 回路のゲート数

$f(X, Y, Z) = X \cdot (Y + Z)$   
 $g(X, Y, Z) = X \cdot Y + X \cdot Z$

等価な関数

等価な回路

ゲート2個      ゲート3個

Gは1個余分にゲートが必要

5

## 回路の段数

◆ 定義: 段数

— 入力から出力まで通ったゲートの数

$f(A, B, C, D) = (A \cdot B) \cdot (C \cdot D)$   
 $g(A, B, C, D) = ((A \cdot B) \cdot C) \cdot D$

等価な関数

2段      3段

Gは1段余分にゲートを通っている

6

## 効率の良い回路

- 回路のゲート数が少ない
  - 回路を小型化できる
- 回路の段数が少ない
  - 回路の遅延を少なくできる

面積小  $X \cdot (Y+Z)$   $\iff$  面積大  $X \cdot Y + X \cdot Z$

遅延小  $(A \cdot B) \cdot (C \cdot D)$   $\iff$  遅延大  $((A \cdot B) \cdot C) \cdot D$

7

## 最適化

- 空間最適化
  - 論理ゲートの総数を最小にする
- 時間最適化
  - 論理ゲートの段数を最小にする

空間最適化  $X \cdot Y + X \cdot Z \rightarrow X \cdot (Y+Z)$

時間最適化  $((A \cdot B) \cdot C) \cdot D \rightarrow (A \cdot B) \cdot (C \cdot D)$

8

## カルノー図

- カルノー図:関数値を2次元格子図で表現
  - 論理関数を直感的に把握する表現法
  - 論理回路の最適化設計を直感的に行える

		XY			
		00	01	11	10
Z	0	0	0	1	0
	1	1	1	1	0

9

## カルノー図

- カルノー図のサイズ

- 2変数( $2^2$ 通り):  $2^1 \times 2^1 = 2 \times 2$ : 縦2横2
- 3変数( $2^3$ 通り):  $2^1 \times 2^2 = 2 \times 4$ : 縦2横4
- 4変数( $2^4$ 通り):  $2^2 \times 2^2 = 4 \times 4$ : 縦4横4

		XY			
		00	01	11	10
ZW	00	0	1	0	0
	01	1	1	1	0
	11	0	0	1	1
	10	0	0	1	0

10

## カルノー図の例

例題:  $f(X,Y,Z) = \overline{X} \cdot \overline{Y} + Y \cdot \overline{Z}$  を  
カルノー図で示せ

順番に注意!

		XY			
		00	01	11	10
Z	0	1	1	1	0
	1	1	0	0	0

11

## カルノー図の座標ラベル

- 隣同士で1文字だけが異なるようにする

- 2変数のラベル
  - 00, 01, 11, 10 (, 00)
- 3変数のラベル
  - 000, 001, 011, 010, 110, 111, 101, 100 (, 000)
- 4変数のラベル
  - 0000,0001,0011,0010,0110,0111,0101,0100,1100,1101,1111,1110,1010,1011,1001,1000

12

## カルノー図の例題

■ 例題: 次のカルノー図の論理関数を求めよ

		X	0	1	
	Y				
	0		0	1	(0,1)(1,0)のマ ス目が1
	1		1	0	

$$f(X, Y) = X \cdot Y + X \cdot \bar{Y}$$

13

## カルノー図による論理式の簡略化

▶ カルノー図の隣同士は1文字だけが異なる

		X Y	00	01	11	10
	Z					
	0		1	1		
	1					

Yは0でも1でも  
値は同じ  
⇒ Yは式から  
消してよい

この2マスは共に  
 $X=0, Z=0$

14

## カルノー図による論理式の簡略化

		X Y	00	01	11	10
	Z					
	0		1	1		
	1		1	1		

この4マスは  
全て  $Y=1$

15

## カルノー図による論理式の簡略化

		X Y	00	01	11	10
	Z					
	0		1			1
	1		1			1

カルノー図の上下左右は  
隣り合っている

16

## カルノー図による論理式の簡略化

		X Y	00	01	11	10
	Z W					
	00		1			1
	01		1			1
	11				1	
	10		1	1	1	1

$2^i \times 2^j$  の長方形内が全て1ならば簡略化可能  
✓カルノー図の上下・左右は繋がっていることに注意

17

## 包含

◆ 定義: 包含

- 論理積項  $Q$  の値を1にする入力  $P \supseteq Q$
- ⇒ 論理積項  $P$  の値を1にする入力
- ・ 論理積項  $P$  は論理積項  $Q$  を包含する
- ・ 論理積項  $Q$  は論理積項  $P$  に包含される

例:  $f(X, Y, Z) : P = X, Q = X \cdot \bar{Y}$

$Q=1$  となるのは  $(1,0,1), (1,0,0)$   
 $(X, Y, Z) = (1,0,1), (1,0,0) \Rightarrow$  共に  $P=1$  となる

18

## 例題：包含

■ 例題:  $f(X,Y,Z)$  において  $P \supseteq Q_i$  なのは?

$$\begin{aligned}
 P &= X \cdot Z \\
 Q_0 &= X \cdot Y \cdot Z & (1,1,0) \quad P(1,1,0) = 1 \quad P \supseteq Q_0 \\
 Q_1 &= X \cdot Y \cdot \bar{Z} & (1,0,0) \quad P(1,0,0) = 1 \quad P \supseteq Q_1 \\
 Q_2 &= Y \cdot Y \cdot Z & (1,1,1) \quad P(1,1,1) = 0 \quad P \not\supseteq Q_2 \\
 Q_3 &= Y \cdot Z & \begin{cases} (0,0,0) & P(0,0,0) = 0 \\ (1,0,0) & P(1,0,0) = 1 \end{cases} \quad P \not\supseteq Q_3
 \end{aligned}$$

19

## カルノー図と包含関係

$Z \backslash XY$	00	01	11	10
0		1	1	
1		1	1	

$$\begin{aligned}
 (0,1,0) &\leftarrow (0,1,0) & (0,1,1) \\
 (0,1,1) &\leftarrow (0,1,1) & \\
 (1,1,0) & & \\
 (1,1,1) & &
 \end{aligned}
 \quad P \supseteq Q \supseteq R$$

20

## 主項

◆ 定義：主項

論理関数  $f$  を積和形で表現する

$f = t_1 + t_2 + \dots + t_n$  ( $t_i$ :  $f$  の積項)

積項  $t_i$  が主項

$\Leftrightarrow t_i$  がそれ以外の積項  $t_j$  に包含されない

カルノー図で

より大きな長方形に包含されない長方形

21

## 主項

例:  $f = X \cdot \bar{Z} + X \cdot Y + X \cdot \bar{Y} \cdot \bar{Z}$

$$\begin{aligned}
 &\text{主項} \quad X \cdot \bar{Z} \supseteq X \cdot \bar{Y} \cdot \bar{Z} \\
 &\text{主項ではない} \quad (1,0,0) \leftarrow (1,0,0) \\
 &\quad \quad \quad (1,1,0)
 \end{aligned}$$

$Z \backslash XY$	00	01	11	10
0			1	1
1			1	

22

## 主項とカルノー図

$Z \backslash XY$	00	01	11	10
00	1	1		
01	1	1	1	
11		1	1	
10		1		

主項以外の項は不要

主項

23

## 最小積和形

◆ 定義：最小積和形, 最簡積和形

- 主項だけで構成する積和形のうち項数が最小のもの

例:

$$\begin{aligned}
 f &= \boxed{X \cdot \bar{Z}} + \boxed{Y \cdot Z} \\
 g &= \boxed{X \cdot \bar{Z}} + \boxed{Y \cdot Z} + \boxed{X \cdot Y}
 \end{aligned}$$

$\bar{X} \cdot \bar{Z}, Y \cdot Z, \bar{X} \cdot Y$  全て主項

$f$ : 最小積和形

$g$ : 最小積和形ではない

$Z \backslash XY$	00	01	11	10
0	1	1		
1		1	1	

24

## 必須主項と特異最小項

### ◆ 定義：必須主項と特異最小項

- 特異最小項: ただ1つの主項に包含される
- 必須主項: 特異最小項を包含する

$z \backslash xy$	00	01	11	10
0			1	1
1		1	1	

25

## 最小積和形の積項の条件

### ■ 最小積和形の積項の条件

- 主項以外の項は不要
- 必須主項は必要

例:  $\overline{X} \cdot \overline{Z} + \overline{X} \cdot \overline{Y} \cdot \overline{Z} + \overline{Y} \cdot Z + \overline{X} \cdot Y \cdot Z + \overline{X} \cdot Y$

必須主項      主項

$z \backslash xy$	00	01	11	10
0	1	1		
1		1	1	

> 必須主項以外の主項は必要? 不要?

26

## 最小積和形を求める手順

1. 標準積和形に変形
2. カルノー図を描く
3. 主項を求める
4. 特異最小項を探す
5. 必須主項を選択
6. 必須主項が包含しない最小項を包含する主項を選択(項数が最小になるように)
7. 5.と6.で選択した主項をORで結ぶ

27

## カルノー図による最小化

主項を選択

$$f =$$

$z \backslash xy$	00	01	11	10
00		1		1
01	1			1
11	1			1
10		1	1	1

28

## カルノー図による最小化

必須主項を選択

$z \backslash xy$	00	01	11	10
00		1		1
01	1			1
11	1			1
10		1	1	1

29

## カルノー図による最小化

必須主項が包含しない最小項を包含する主項を選択(項数が最小になるように)

$z \backslash xy$	00	01	11	10
00		1		1
01	1			1
11	1			1
10		1	1	1

どちらでもOK!

30

## カルノー図による最小化

最小積和形

		XY			
	ZW	00	01	11	10
00			1		1
01	1				1
11	1				1
10			1	1	1

または

31

## 例題：カルノー図による最小化

- 例題  $f(A, B, C) = A \cdot B + B \cdot C + \overline{A} \cdot C$  の最小積和形

		AB			
	C	00	01	11	10
0				1	
1	1	1	1	1	

$$f = A \cdot B + \overline{A} \cdot C$$

32

## 例題：カルノー図による最小化

- 例題

		AB			
	C	00	01	11	10
0	1	1	1	1	
1	1	1		1	1

		AB			
	C	00	01	11	10
0	1	1	1	1	
1	1	1		1	1

		AB			
	C	00	01	11	10
0	1	1	1	1	
1	1	1		1	1

または

33

## 出力を決めなくていい入力

- ある入力に対して出力を決める必要が無い場合がある

✓例：じゃんけんを2ビットで表現

➢ 00 = グー, 01 = チョキ, 10 = パー

入力11は？

- そんな入力はありません
- そんな入力は禁止する
- そんな入力は無効である
- そんな入力は入力する奴が悪い！

34

## ドントケア

- ◆ 定義：ドントケア

- $n$  変数論理関数において、 $n$  個の変数値の組に対する関数値が未定義
- $n$  入力論理回路において、 $n$  本の入力信号の組に対する出力信号が未定義

✓ドントケアに対する出力は何でもOK!

- 0を出力
- エラーメッセージを出して停止
- 1を出力
- 計算機がフリーズ
- 再入力を促す
- 計算機が火を噴いて爆発する！

35

## ドントケアを含む論理関数

XY	$f_1(X, Y)$
00	0
01	1
10	1
11	-

XY	$f_1(X, Y)$
00	0
01	1
10	1
11	1

XY	$f_2(X, Y)$
00	0
01	1
10	1
11	0

∴ ドントケア

$f(1,1)$  が未定義なので、回路設計者はのどちらを作っても良い

36

## ドントケアを含む場合の最小化

- ドントケアは1,0のどちらにしても良い
- 最小化に有効である場合は1と見做してよい

zw \ xy	00	01	11	10
00		1	1	
01	-	-	-	1
11		-	-	1
10		1	1	

- ドントケア

$$f = XY + XW + YZ$$

37

## ドントケアを含む場合の最小化

ZW \ XY	00	01	11	10
00	1			X
01	1	-	1	
11	-	-	1	
10	-		1	

$$f = \overline{X} \cdot \overline{Y} + Y \cdot W + X \cdot Y \cdot Z$$

38

## 5変数関数のカルノー図

- 5変数関数  $f=(X,Y,Z,U,V)$  のカルノー図

V	ZU \ XY	0				1			
		00	01	11	10	00	01	11	10
0	00		1				1		
	01	1							
	11				1				1
	10				1				1
1	00								
	01								
	11								
	10								

$$f = XYUV + XYZU + XYXZ$$

39

## 6変数関数のカルノー図

- 6変数関数  $f=(X,Y,Z,U,V,W)$  のカルノー図

W	V	ZU \ XY	0				1			
			00	01	11	10	00	01	11	10
0	0	00			1					1
		01				1				
		11								1
		10	1							
1	0	00								
		01				1				
		11								
		10	1							
1	1	00								1
		01								
		11								
		10	1							

$$f = XYUV + XYZU + XYXZ$$

40

## カルノー図の特徴

- 長所
  - 直感的で分かり易い
  - 必要な主項の選択が容易
- 短所
  - 実用的に使えるのはせいぜい4変数 (無理して6変数)まで

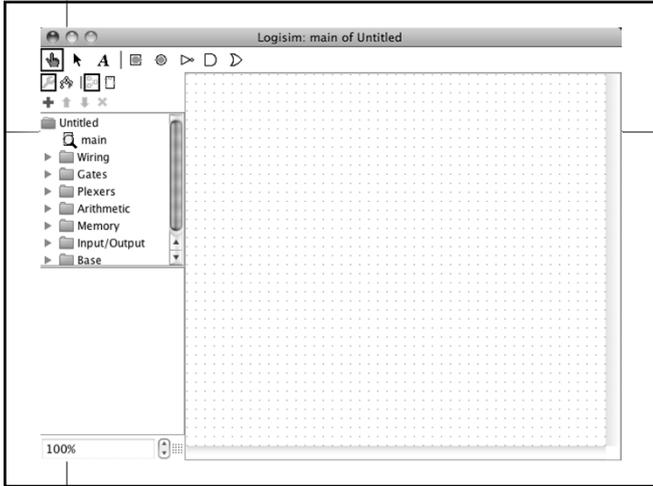
41

## Logisim

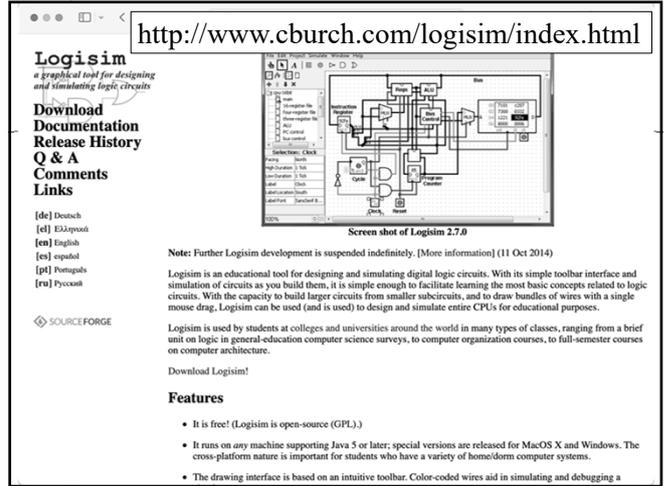
次回 Logisim を用いた実習を行う

- Logisim
  - 論理回路のシミュレータ
    - 論理素子やモジュールを使用可能
    - フリーソフト
  - ホームページ
    - <http://www.cburch.com/logisim/>

42



43



44

# Logisimのインストール

■ ノートPCに Logisim をインストール  
 - 論理回路のページにインストール方法を記載

http://www.info.kindai.ac.jp/LC/Logisim

45

◆論理回路◆

このページは2022年度の「論理回路」の公式ホームページです。ここに講義録、課題、レポートの提出方法等の情報を掲載します。

連絡 <https://www.info.kindai.ac.jp/LC/>

- Logisim実習について
  - 第4回(4/28)は Logisim を用いたシミュレーション実習を行います。 **こちらのページ**を各自ノートPCに Logisim をインストールしておいてください。また、以下のファイルをダウンロードしておいてください。(4/1)
    - Logisim ファイル一式 (下記の \*.circ ファイルをまとめたものです)
    - (第4回講義用): gate1.circ, gate2.circ, gate3.circ, gate4.circ, gate5.circ, gate6.circ, MP2.circ, FA.circ, EA4.circ, FAS4.circ
    - (第11回講義用): FF.circ, BR.circ, Sft.circ, Reg.circ, SftReg.circ, Ctr16.circ, Ctr10.circ, CtrX.circ
  - (注意)OSのバージョンが11.2.3 Big Sur 以降では Logisim を使えません。その場合は、**こちらのページ**を見てLogisimの代わりに Logisim-evolution をインストールしてください。また、以下のファイルをダウンロードしておいてください。(上記のLogisim用のファイルとは異なりますので注意してください)(4/1)
    - Logisim-evolution ファイル一式 (下記の \*.circ ファイルをまとめたものです)
    - (第4回講義用): gate1.circ, gate2.circ, gate3.circ, gate4.circ, gate5.circ, gate6.circ, MP2.circ, FA.circ, EA4.circ, FAS4.circ
    - (第11回講義用): FF.circ, BR.circ, Sft.circ, Reg.circ, SftReg.circ, Ctr16.circ, Ctr10.circ, CtrX.circ
- 出席について
 

単位取得には原則として全ての授業に出席する必要があります。やむを得ず欠席する場合はその週までに必ず欠席届を出してください。欠席届無しの欠席が複数回ある場合は履修の意思無しと見做して不受扱いにします。

オンライン授業では、当日 GoogleClassroom から出席カードが提出がされていれば出席扱いにします。
- 課題について

46

http://www.info.kindai.ac.jp/LC/Logisim/install.html

## 1. logisim-macosx-2.7.1.tar.gz を /Users/info/Downloads にダウンロード

Mac への Logisim のは以下の手順で行います。

(注意)OSのバージョンが11.2.3 Big Sur 以降では Logisim を使えません。その場合は、**こちらのページ**を見てLogisimの代わりに Logisim-evolution をインストールしてください。

1. **logisim-macosx-2.7.1.tar.gz** をダウンロードする。(最新版は [https://ja.osdn.net/projects/sfnet\\_circuit/](https://ja.osdn.net/projects/sfnet_circuit/) にあります)

47

https://ja.osdn.net/projects/sfnet\_circuit/

## Logisim

最終更新: 2013-04-29 18:59

概要 - ダウンロード

**プロジェクトの説明**

Logisimは、デジタル論理回路の設計とシミュレーションのための教育ツールであり、インターフェース、複雑回路、ワイヤ、バンドル、大規模なコンポーネントライブラリを簡単に学ぶことができます。Javaアプリケーションとして、多くのプラットフォーム上で実行することができます。

**インストール**

Hello, My name is Zhavot, Installation of Logisim is straight forward by just double clicking on it! Have a nice work!

**ダウンロード**

最新ダウンロードファイル

- logisim-fragile-2.7.2.255.jar (日付: 2011-05-20, サイズ: 6.63 MB)
- logisim-fragile-2.7.2.251.jar (日付: 2011-04-07, サイズ: 6.62 MB)
- logisim-fragile-2.7.2.248.jar (日付: 2011-04-01, サイズ: 6.62 MB)
- logisim-fragile-2.7.2.247.jar (日付: 2011-03-29, サイズ: 6.62 MB)
- logisim-macosx-2.7.1.tar.gz (日付: 2011-03-22, サイズ: 6.10 MB)

最新版はここ

48

## 2. logisim-macosx-2.7.1.tar をクリック

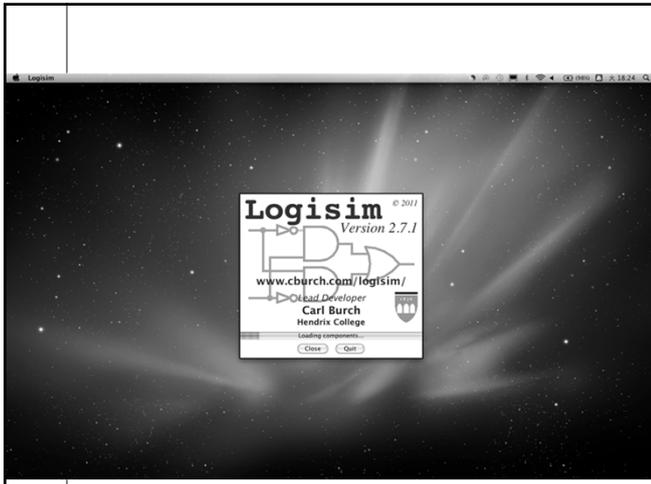


49

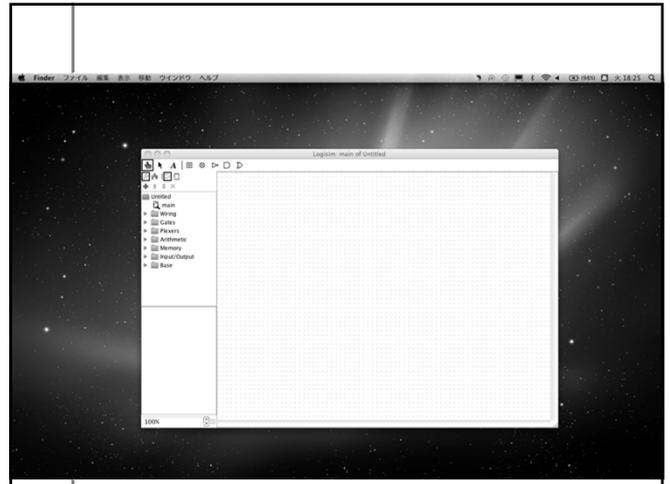
## 3. Logisim.app をクリック



50



51



52

## エラーが出る場合



53



54



55

## 実習用ファイル

- 第4回実習開始時まで以下の10個のファイルをダウンロードしておくこと
  - gate1.circ, gate2.circ, gate3.circ, gate4.circ, gate5.circ, gate6.circ, MP2.circ, FA.circ, FA4.circ, FAS4.circ

56

<https://www.info.kindai.ac.jp/LC/>

このページは2022年度の「論理回路」の公式ホームページです。ここに講義録、課題、レポートの提出方法他の情報を掲載します。

**連絡**

- Logisim実習について
  - 第4回(4/28)は Logisim を用いたシミュレーション実習を行います。こちらのページを見て各自ノートPCに Logisim をインストールしてください。また、以下のファイルをダウンロードしておいてください。(4/1)
  - Logisim ファイル一式 (下記の \*.circ ファイルをまとめたものです)
    - (第4回講義用) : gate1.circ, gate2.circ, gate3.circ, gate4.circ, gate5.circ, gate6.circ, MP2.circ, FA.circ, FA4.circ, FAS4.circ
    - (第11回講義用) : FF.circ, BR.circ, Sft.circ, Reg.circ, S0Reg.circ, Ctr16.circ, Ctr10.circ, CtrX.circ
  - (注)OS のバージョンが 11.2.3 Big Sur 以降では Logisim を使えません。その場合は、こちらのページを見て Logisim の代わりに Logisim-evolution をインストールしてください。また、以下のファイルをダウンロードしておいてください。(上記のLogisim 用のファイルとは異なりますので注意してください) (4/1)
    - Logisim-evolution ファイル一式 (下記の \*.circ ファイルをまとめたものです)
    - (第4回講義用) : gate1.circ, gate2.circ, gate3.circ, gate4.circ, gate5.circ, gate6.circ, MP2.circ, FA.circ, FA4.circ, FAS4.circ
    - (第11回講義用) : FF.circ, BR.circ, Sft.circ, Reg.circ, S0Reg.circ, Ctr16.circ, Ctr10.circ, CtrX.circ
- 出席について
 

単位取得には原則として全ての授業に出席する必要があります。やむを得ず欠席する場合はその翌週までに必ず欠席届を出してください。欠席届無しの欠席が複数回ある場合は履修の意思無しと見做して不受扱いにします。

オンライン授業では、当日 GoogleClassroom から出席カードが提出がされていれば出席扱いにします。
- 課題について

57



58

## Logisim-evolution

- Logisim-evolution
  - Logisim のフォーク版 (Logisim をベースに開発されたソフトウェア)

59

<https://github.com/reds-heig/logisim-evolution>

Product Team Enterprise Explore Marketplace Pricing Search Sign in Sign up

logisim-evolution / logisim-evolution Public Notifications Fork 328 Star 2.2k

<> Code Issues 113 Pull requests 7 Discussions Actions Wiki Security

master 4 branches 33 tags Go to file Code About

BFH-ktt1 Merge pull request... 49398db on 25 Nov 2021 3,729 commits

- .github Disable SonarQube analysis for pull requests 4 months ago
- artwork Corrected artwork related docs 6 months ago
- boards\_model Add the Digilent Spartan3 Starter Board 10 months ago
- docs MD lint fixes 6 months ago
- gradle/wrapper Upgrade gradle to version 7.0.2 10 months ago
- src Redo of #1282 (by legion-null) into develop... 5 months ago
- support Updated icons used by jpackage 7 months ago
- .gitattributes Flagged SVG as binary files 9 months ago
- .gitignore Updated gitignore 6 months ago
- .markdownlint.yaml Excluded KBD from MD lint 7 months ago
- .pre-commit-config... Updated default pre-commit config 6 months ago

Digital logic design tool and simulator

- education simulator fpga vhdl
- logic circuits verilog circuit
- digital-logic logisim digital-circuit
- digital-circuits timing-diagram
- digital-logic-design logisim-evolution

Readme OPL-3.0 License 2.2k stars 53 watching 328 forks

Releases 28 Version 3.7.2 (Latest) on 9 Nov 2021

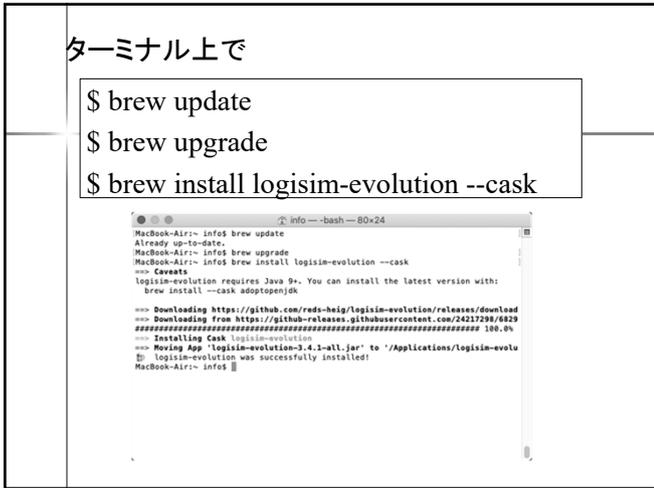
60



61



62



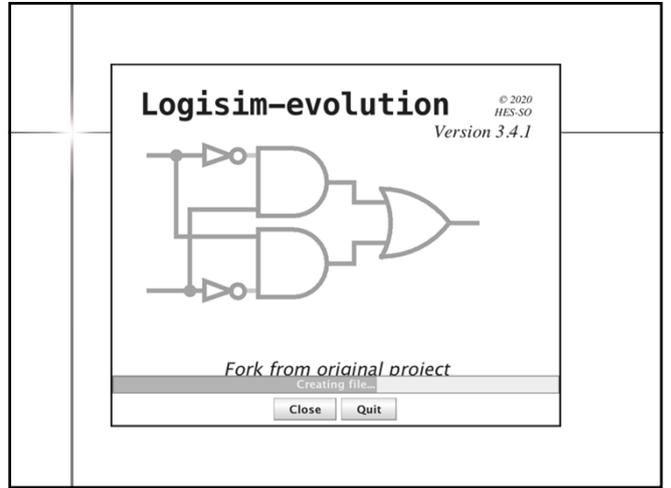
63



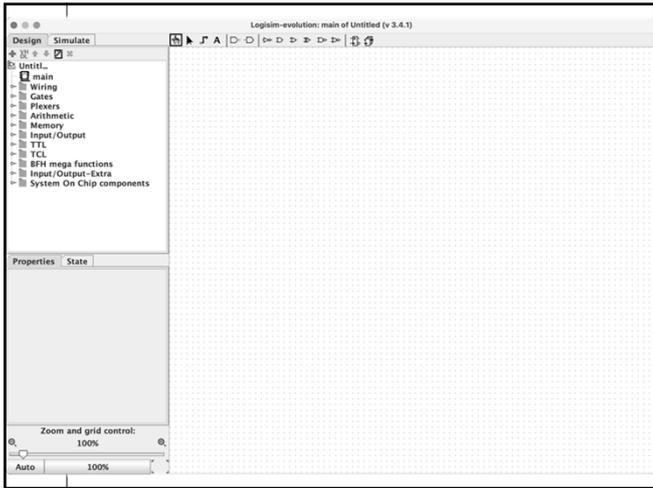
64



65



66



67



が出る場合は  
 ターミナル上で  
`$ java -jar /Applications/logisim-evolution.jar &`

68

<https://www.info.kindai.ac.jp/LC/>

このページは2022年度の「論理回路」の公式ホームページです。ここに講義録、課題、レポートの提出方法他の情報を掲載します。

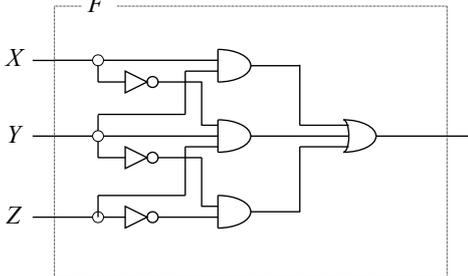
**連絡**

- Logisim実習について
  - 第4回(4/28)は Logisim を用いたシミュレーション実習を行います。こちらのページを見て 各自ノートPCに Logisim をインストールしておいてください。また、以下のファイルをダウンロードしておいてください。(4/1)
    - Logisim ファイル一式 (下記の \*.circ ファイルをまとめたものです)
      - (第4回講義用) : gate1.circ, gate2.circ, gate3.circ, gate4.circ, gate5.circ, gate6.circ, MP2.circ, FA.circ, EA4.circ, EA54.circ
      - (第11回講義用) : FF.circ, BR.circ, Sft.circ, Reg.circ, S0Reg.circ, Ctr16.circ, Ctr10.circ, CtrX.circ
  - (注)OS のバージョンが 11.2.3 Big Sur 以降では Logisim を使えません。その場合は、こちらのページを見て Logisim の代わりに Logisim-evolution をインストールしてください。また、以下のファイルをダウンロードしておいてください。(上記の Logisim 用のファイルとは異なりますので注意してください) (4/1)
    - Logisim-evolution ファイル一式 (下記の \*.circ ファイルをまとめたものです)
      - (第4回講義用) : gate1.circ, gate2.circ, gate3.circ, gate4.circ, gate5.circ, gate6.circ, MP2.circ, FA.circ, EA4.circ, EA54.circ
      - (第11回講義用) : FF.circ, BR.circ, Sft.circ, Reg.circ, S0Reg.circ, Ctr16.circ, Ctr10.circ, CtrX.circ
- 出席について
  - 単位取得には原則として全ての授業に出席する必要があります。やむを得ず欠席する場合はその翌週までに必ず欠席届を出してください。欠席届無しの場合複数回ある場合は履修の意思無しと見做して不受扱いにします。
  - オンライン授業では、当日 GoogleClassroom から出席カードが提出がされていなければ出席扱いにします。
- 課題について

69

## 演習問題：回路の設計

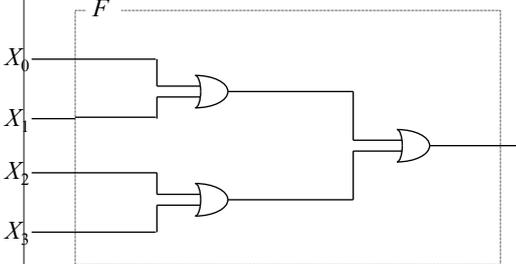
(3入力ANDゲート,3入力ORゲートを使って良い)



70

## 演習問題：回路の最適化

■ 下式を時間最適化せよ (2入力ORゲートを使うこと)

$$F = (X_0 + X_1) \cdot (X_2 + X_3)$$


71

## 演習問題：カルノー図による簡略化

■ 次のカルノー図で表される論理関数を書け

Z\XY	00	01	11	10
0			1	1
1	1	1	1	1

$$f(X,Y,Z) = Z$$

Z\XY	00	01	11	10
0		1	1	
1	1			1

$$f(X,Y,Z) = \overline{Y} \cdot Z + Y \cdot \overline{Z}$$

72

### 演習問題：主項

- 下記の論理式の項の中で主項はどれか  
また必須主項はどれか

$$f(X,Y,Z) = X \cdot Z + X \cdot Y \cdot Z + Y \cdot Z + X \cdot Y \cdot X + X \cdot Y + X \cdot Z$$

Z \ XY	00	01	11	10
0			1	1
1	1	1	1	

主項

必須主項

$$\begin{aligned} & \bar{X} \cdot Z, Y \cdot Z, \\ & X \cdot Y, X \cdot Z \\ & X \cdot Z, X \cdot \bar{Z} \end{aligned}$$

73

### 演習問題：カルノー図による最小化

- $f(X,Y,Z)$  の最小積和形を求めよ

$$f = X \cdot Y \cdot Z + X \cdot Y \cdot \bar{Z} + X \cdot \bar{Y} \cdot Z + X \cdot \bar{Y} \cdot \bar{Z}$$

Z \ XY	00	01	11	10
0		1	1	
1	1	1		

$$\bullet f = X \cdot Z + Y \cdot Z$$

74

### 演習問題：カルノー図による最小化

- $f(X,Y,Z)$  の最小積和形を求めよ

$$f = X \cdot Y \cdot Z + X \cdot Y \cdot \bar{Z} + X \cdot \bar{Y} \cdot Z$$

ただし、(0,1,1), (1,1,0) はドントケア

Z \ XY	00	01	11	10
0		1	-	1
1		-	1	

$$\bullet f = Y + X \cdot Z$$

75