

Unit 12

—Asynchronous sequential circuit design

张彦航

School of Computer Science
Zhangyanhang@hit.edu.cn

利用触发器设计异步时序逻辑

异步时序逻辑设计的特点

- 异步时序电路中，没有统一的时钟脉冲
- 异步时序电路中要求每次输入信号发生变化后，必须等电路进入稳定状态，才允许输入信号再次发生改变
- 时钟脉冲作为一个输入变量考虑
- 为避免电路中出现竞争冒险，异步时序电路中每一时刻仅允许一个输入信号发生变化，不允许两个脉冲同时输入。 n 个输入端有 $n+1$ 个输入组合

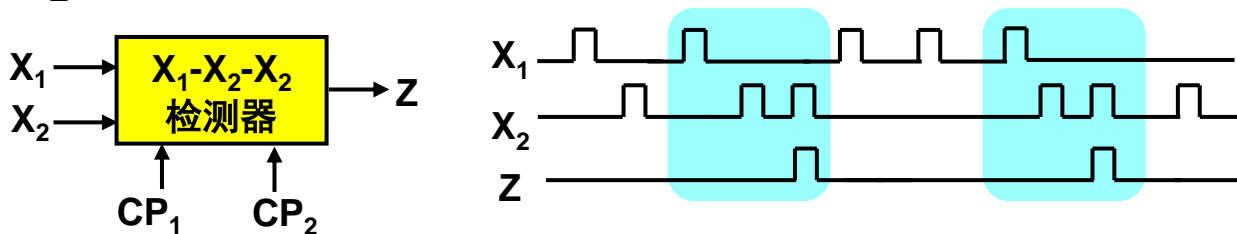
如：异步时序中， $X_1X_2X_3$ 是三个输入端，有四种输入组合：000、001、010、100。

000——表示没有脉冲输入。

011、101、110、111是不允许出现的组合

利用触发器设计异步时序逻辑

例1：用D触发器设计一个 X_1 - X_2 - X_2 脉冲序列检测器，其中 X_1 、 X_2 为不同时出现的脉冲。



1. 建立原始状态表

① 设状态

S_0 ：初始状态, $X_1X_2=00$

S_1 ：收到 X_1 , $X_1X_2=10$

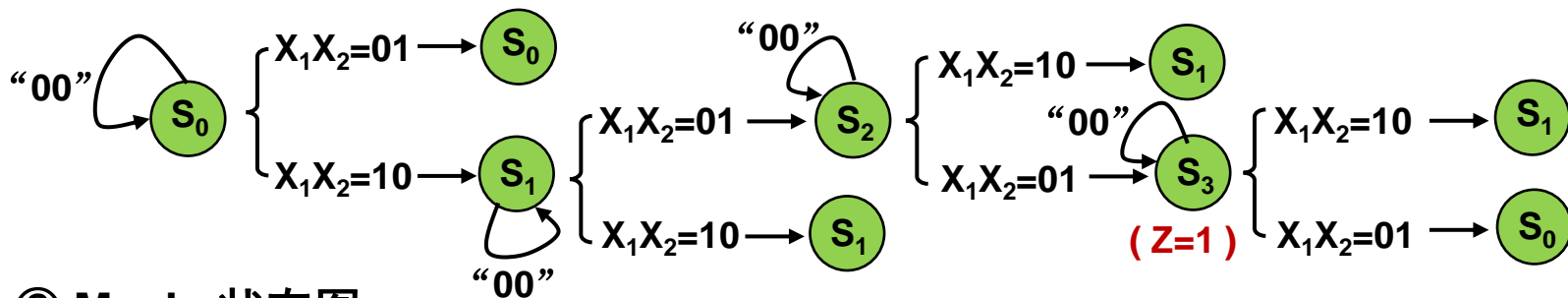
S_2 ：收到 X_1 - X_2 , 即 $10 \rightarrow 01$

S_3 ：收到 X_1 - X_2 - X_2 , 即 $10 \rightarrow 01 \rightarrow 01$, 且 $Z=1$ 。

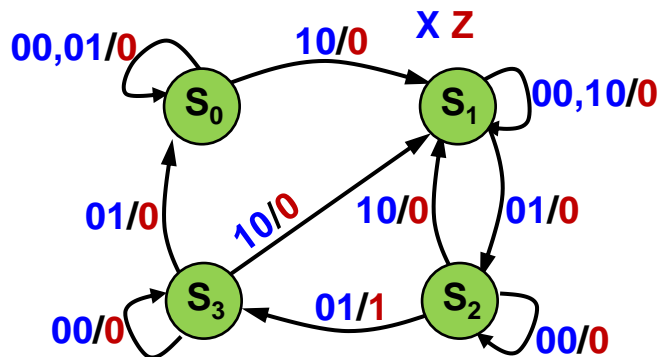
只标记感兴趣的子序列

利用触发器设计异步时序逻辑

② 状态转换情况



③ Mealy 状态图



④ 状态表

现态 Q^n	Q^{n+1} / Z		
	$X_1X_2=00$	$X_1X_2=01$	$X_1X_2=10$
S_0	$S_0 / 0$	$S_0 / 0$	$S_1 / 0$
S_1	$S_1 / 0$	$S_2 / 0$	$S_1 / 0$
S_2	$S_2 / 0$	$S_3 / 1$	$S_1 / 0$
S_3	$S_3 / 0$	$S_0 / 0$	$S_1 / 0$

利用触发器设计异步时序逻辑

2. 状态化简

现态 Q^n	Q^{n+1}/Z			
	$X_1X_2=00$	$X_1X_2=01$	$X_1X_2=10$	
S_0	$S_0/0$	$S_0/0$	$S_1/0$	✓
S_1	$S_1/0$	$S_2/0$	$S_1/0$	
S_2	$S_2/0$	$S_3/1$	$S_1/0$	
S_3	$S_3/0$	$S_0/0$	$S_1/0$	✓



现态 Q^n	Q^{n+1}/Z		
	$X_1X_2=00$	$X_1X_2=01$	$X_1X_2=10$
S_0	$S_0/0$	$S_0/0$	$S_1/0$
S_1	$S_1/0$	$S_2/0$	$S_1/0$
S_2	$S_2/0$	$S_0/1$	$S_1/0$

3. 状态编码

原则1: S_0S_2 、 S_0S_1 、 S_1S_2 应取相邻编码

原则2: S_0S_1 、 S_1S_2 、 S_0S_2 应取相邻编码

原则3: S_0S_2 、 S_0S_1 、 S_1S_2 应取相邻编码

	0	1
0	S_0	S_1
1	S_2	

S_0 : 00

S_1 : 01

S_2 : 10

4、D触发器的激励表

将CP看作控制函数，D触发器的特征表达式为：

$$Q^{n+1} = D \cdot CP + Q^n \cdot \overline{CP}$$

$$\begin{aligned} CP=1, Q^{n+1} &= D \\ CP=0, Q^{n+1} &= Q \end{aligned}$$

驱动表

$Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	CP	D
0 → 0	0	X
0 → 1	1	1
1 → 0	1	0
1 → 1	0	X

	0	1
0	S ₀	S ₁
1	S ₂	

S₀: 00
S₁: 01
S₂: 10

现态 Q ⁿ	Q ⁿ⁺¹ / Z		
	X ₁ X ₂ =00	X ₁ X ₂ =01	X ₁ X ₂ =10
S ₀	S ₀ / 0	S ₀ / 0	S ₁ / 0
S ₁	S ₁ / 0	S ₂ / 0	S ₁ / 0
S ₂	S ₂ / 0	S ₀ / 1	S ₁ / 0

确定CP₂: 看Q₂ⁿ→Q₂ⁿ⁺¹
确定CP₁: 看Q₁ⁿ→Q₁ⁿ⁺¹

确定D₂: 看CP₂和Q₂ⁿ⁺¹
确定D₁: 看CP₁和Q₁ⁿ⁺¹

输入及现态				次态		输入				输出
X ₁	X ₂	Q ₂ ⁿ	Q ₁ ⁿ	Q ₂ ⁿ⁺¹	Q ₁ ⁿ⁺¹	CP ₂	D ₂	CP ₁	D ₁	Z
0	0	0	0	0	0	0	X	0	X	0
0	0	0	1	0	1	0	X	0	X	0
0	0	1	0	1	0	0	X	0	X	0
0	0	1	1	X	X	X	X	X	X	X
0	1	0	0	0	0	0	X	0	X	0
0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	X	1
0	1	1	1	X	X	X	X	X	X	X
1	0	0	0	0	0	0	X	1	1	0
1	0	0	1	0	1	0	X	0	X	0
1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0
1	0	1	1	X	X	X	X	X	X	X
1	1	0	0	X	X	X	X	X	X	X
1	1	0	1	X	X	X	X	X	X	X
1	1	1	0	X	X	X	X	X	X	X
1	1	1	1	X	X	X	X	X	X	X

利用触发器设计异步时序逻辑

5. 卡诺图化简

X_1X_2	$Q_2^nQ_1^n$			
	00	01	11	10
00	0	0	X	0
01	0	1	X	1
11	X	X	X	X
10	0	0	X	1

$$CP_2 = X_2Q_1^n + Q_2^nX_2 + X_1Q_2^n$$

X_1X_2	$Q_2^nQ_1^n$			
	00	01	11	10
00	0	0	X	0
01	0	1	X	0
11	X	X	X	X
10	1	0	X	1

$$CP_1 = \bar{Q}_1^nX_1 + Q_1^nX_2$$

X_1X_2	$Q_2^nQ_1^n$			
	00	01	11	10
00	X	X	X	X
01	X	0	X	X
11	X	X	X	X
10	1	X	X	1

$$D_1 = \bar{Q}_1^n$$

X_1X_2	$Q_2^nQ_1^n$			
	00	01	11	10
00	X	X	X	X
01	X	1	X	0
11	X	X	X	X
10	X	X	X	0

$$D_2 = Q_1^n$$

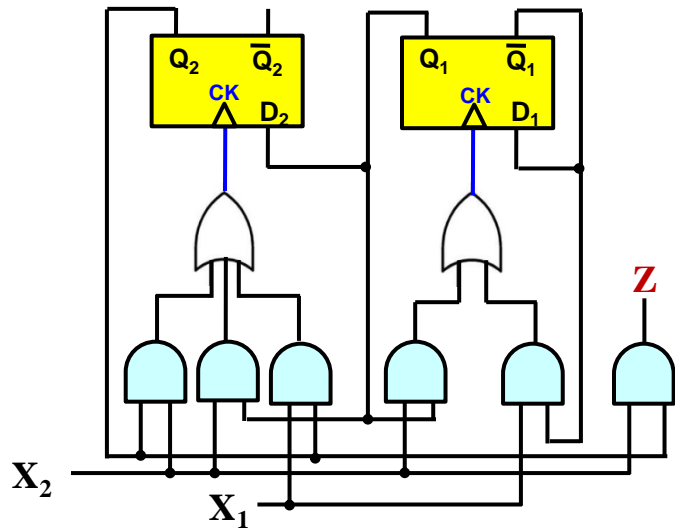
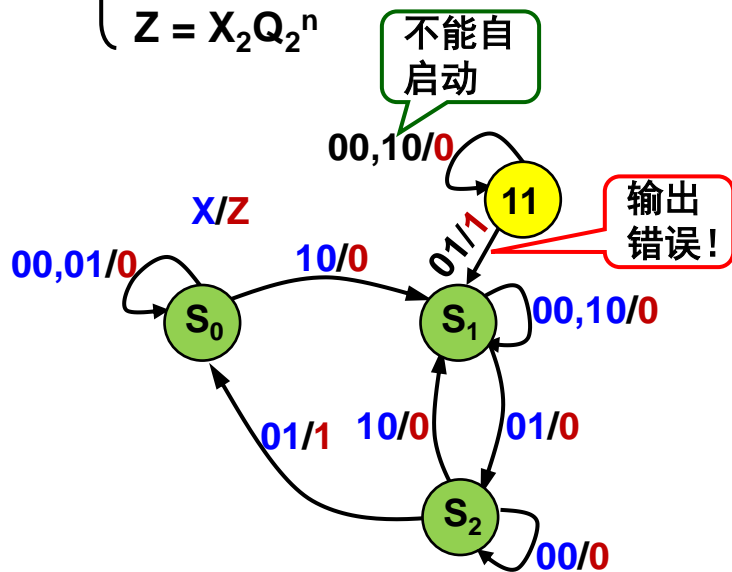
X_1X_2	$Q_2^nQ_1^n$			
	00	01	11	10
00	0	0	X	0
01	0	0	X	1
11	X	X	X	X
10	0	0	X	0

$$Z = X_2Q_2^n$$

利用触发器设计异步时序逻辑

6. 逻辑图

$$\begin{cases} CP_2 = X_2 Q_1^n + Q_2^n X_2 + X_1 Q_2^n \\ CP_1 = \bar{Q}_1^n X_1 + Q_1^n X_2 \\ D_2 = Q_1^n \\ D_1 = \bar{Q}_1^n \\ Z = X_2 Q_2^n \end{cases}$$



7. 检查无关项

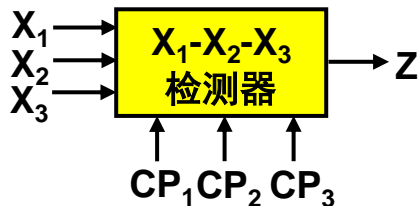
无关状态: $Q_2^n Q_1^n = 11$

$X_1 X_2$ 分别为 00, 01, 10 时, 带入计算

$$\begin{cases} Q_2^{n+1} = D_2 = Q_1^n; & CP_2 = X_2 Q_1^n + Q_2^n X_2 + X_1 Q_2^n \\ Q_1^{n+1} = D_1 = \bar{Q}_1^n; & CP_1 = \bar{Q}_1^n X_1 + Q_1^n X_2 \\ Z = X_2 Q_2^n \end{cases}$$

利用触发器设计异步时序逻辑

例2：用D触发器设计一个 $X_1 - X_2 - X_3$ 异步脉冲序列检测器，其中 X_1 、 X_2 、 X_3 为不同时出现的脉冲



1. 建立原始状态表

① 设状态

S_0 : 初始状态, $X_1X_2X_3=000$

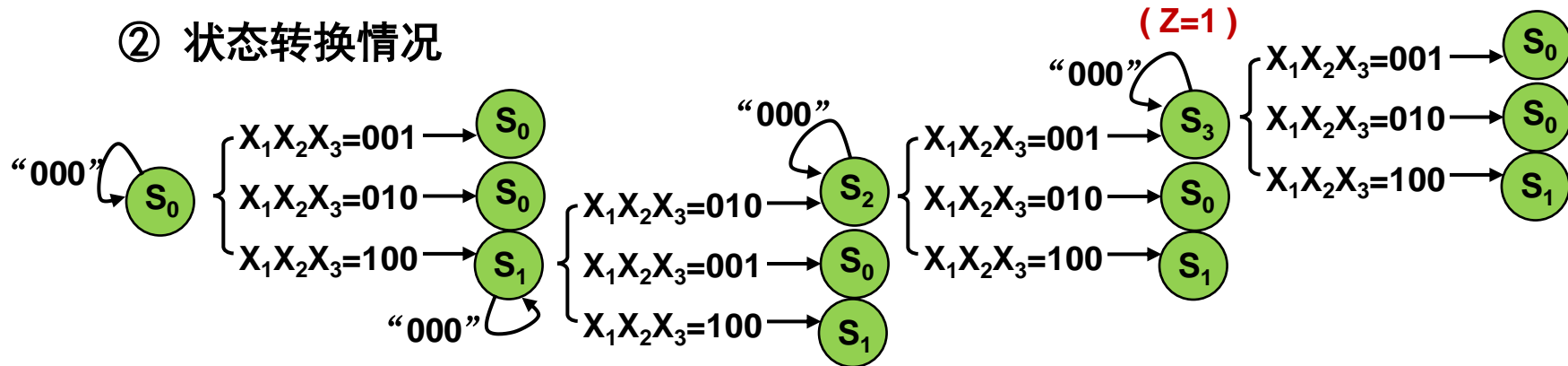
S_1 : 收到 X_1 , $X_1X_2X_3=100$

S_2 : 收到 X_1-X_2 , 即 $100 \rightarrow 010$

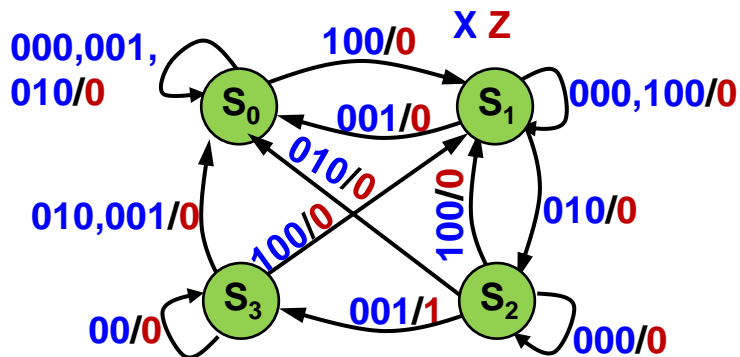
S_3 : 收到 $X_1-X_2-X_3$, 即 $100 \rightarrow 010 \rightarrow 001$, 且 $Z=1$ 。

利用触发器设计异步时序逻辑

② 状态转换情况



③ Mealy 状态图



④ 状态表

现态 Q^n	Q^{n+1} / Z			
	$X_1X_2X_3=000$	$X_1X_2X_3=100$	$X_1X_2X_3=010$	$X_1X_2X_3=001$
S_0	$S_0 / 0$	$S_1 / 0$	$S_0 / 0$	$S_0 / 0$
S_1	$S_1 / 0$	$S_1 / 0$	$S_2 / 0$	$S_0 / 0$
S_2	$S_2 / 0$	$S_1 / 0$	$S_0 / 0$	$S_3 / 1$
S_3	$S_3 / 0$	$S_1 / 0$	$S_0 / 0$	$S_0 / 0$

利用触发器设计异步时序逻辑

2. 状态化简

现态 Q^n	Q^{n+1}/Z			
	$X_1X_2X_3=000$	$X_1X_2X_3=100$	$X_1X_2X_3=010$	$X_1X_2X_3=001$
S_0	$S_0/0$	$S_1/0$	$S_0/0$	$S_0/0$
S_1	$S_1/0$	$S_1/0$	$S_2/0$	$S_0/0$
S_2	$S_2/0$	$S_1/0$	$S_0/0$	$S_3/1$
S_3	$S_3/0$	$S_1/0$	$S_0/0$	$S_0/0$



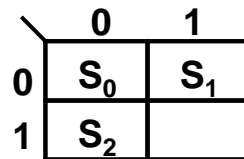
现态 Q^n	Q^{n+1}/Z			
	$X_1X_2X_3=000$	$X_1X_2X_3=100$	$X_1X_2X_3=010$	$X_1X_2X_3=001$
S_0	$S_0/0$	$S_1/0$	$S_0/0$	$S_0/0$
S_1	$S_1/0$	$S_1/0$	$S_2/0$	$S_0/0$
S_2	$S_2/0$	$S_1/0$	$S_0/0$	$S_0/1$

3. 状态编码

原则1: S_0S_2 、 S_0S_1 、 S_1S_2 应取相邻编码

原则2: S_0S_1 、 S_1S_2 、 S_0S_2 应取相邻编码

原则3: S_0S_2 、 S_0S_1 、 S_1S_2 应取相邻编码



S_0 : 00
 S_1 : 01
 S_2 : 10

利用触发器设计异步时序逻辑

4、状态转换真值表

D触发器驱动表

$Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	CP	D
0 \rightarrow 0	0	X
0 \rightarrow 1	1	1
1 \rightarrow 0	1	0
1 \rightarrow 1	0	X

	0	1
0	S_0	S_1
1	S_2	

S_0 : 00
 S_1 : 01
 S_2 : 10



状态转换真值表?