תוכן העניינים:

מערכות ספרתיות

מעגלים סדרתיים סינכרוניים

ניתוח (אנליזה) של מכונת מצבים סינכרונית:

סיכום כללי:

בשאלות ניתוח נקבל תיאור כלשהו של מערכת קיימת (ע"י מימוש לוגי, דיאגרמה מתאימה, טבלה מתאימה וכו') ונישאל על פעולת המערכת / משוואותיה / מצביה הפנימיים וכו'.

ניתן להגדיר מעגל סדרתי סינכרוני באופנים הבאים:

- מימוש לוגי.
- משוואות עירור ומוצא.
- טבלת מצבים.
- דיאגרמת מצבים.
- דיאגרמת זמנים מלאה (עבור כל משתני הכניסה, המצב הנוכחי והמוצא).

כל אחת מהצורות הנ"ל מתארת באופן **<u>מלא</u>** את המערכת הלוגית הסדרתית.
ניתן לעבור מכל צורה לצורות האחרות לפי הצורך.

הגדרות של משתנים:

במערכת סדרתית סוגי המשתנים הם:

- משתני כניסה - משתני הכניסה למעגל כולו.
- משתני מוצא - משתני המוצא מהמעגל כולו.
- משתני עירור לדלגלגים - משתני הכניסה לרכיבי הזיכרון.
- משתני המצב הנוכחי (P.S.) - משתני המוצא מרכיבי הזיכרון בזמן הנוכחי.
- משתני המצב הבא (N.S.) - משתני המוצא מרכיבי הזיכרון במחזור השעון הבא.

משוואות העירור (לדלגלגים):

נקראות גם Excitation Equations.
משוואות המתארות את הקשר שבין משתני הכניסה ומשתני המצב הנוכחי לבין משתני הכניסה לכל אחד מהדלגלגים.

משוואות המצב (משוואות המעבר):

נקראות גם State Equations / Transition Equations.
אלו מתארות את הקשר שבין המצב הבא של כל דלגלג לבין משתני הכניסה ומשתני המצב הנוכחי.

משוואות מוצא (פלט):

נקראות גם Output Equations.
מתארות את הקשר שבין משתני המוצא לבין משתני הכניסה ומשתני המצב הנוכחי.

טבלת מצבים/מעברים (State/Transition Table):

טבלה המורכבת מעמודות הנתונים (משתני ה-.P.S ומשתני הכניסה) ועמודות החישוב (משתני המצב הבא .N.S ומשתני המוצא).

מספר השורות בטבלת מצבים בעלת n משתני כניסה ו- m מצבים פנימיים: 2^{m+n}.

דוגמא לטבלת מצבים (מתוך סרטוני התיאוריה):

P.S. y_1y_2	Input x	N.S. Y_1Y_2	Output z
00	0	01	0
00	1	00	0
01	0	00	0
01	1	10	0
10	0	00	0
10	1	11	0
11	0	00	1
11	1	00	0

השמת תוויות (State Assignment):

במעגלים בהם אין משמעות לערך הבינארי של המצבים הפנימיים, מקובל לתת להם תוויות (Labeling). ראה דוגמא מפורטת בסרטון התיאוריה.

טבלת עירור:

טבלה המתארת את ערכי הכניסות לדלגלגים.
נצרף את עמודות העירור לטבלת המצבים ובכך נוכל למצוא את הערכים עבור כל צירוף של משתני כניסה ומצב נוכחי לקבלת המצב הבא.

דיאגרמת מצבים:

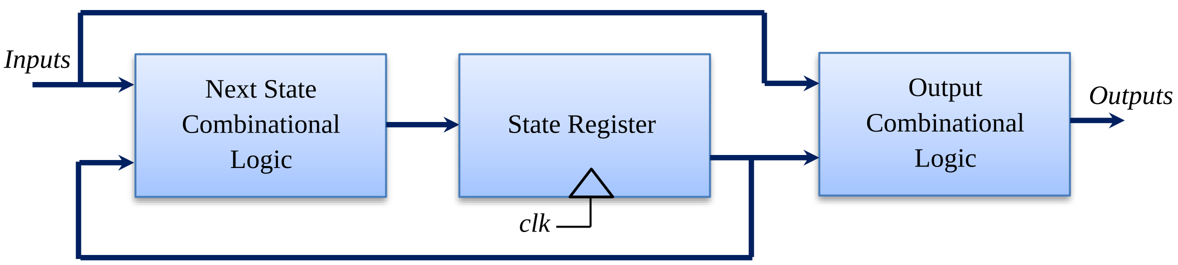
דיאגרמה המתארת באופן ציורי את המעברים מכל מצב נוכחי למצב הבא כתלות במשתני הכניסה. ראה דוגמא שבסרטוני התיאוריה להמחשה אופן ציור וקריאה של דיאגרמה בצורה נכונה.

מודל מילי (Mealy) ומודל מור (Moore):

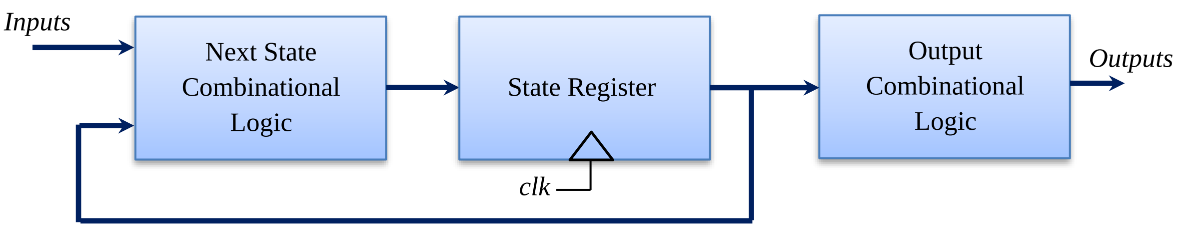
מכונת מצבים סופית - (Finite State Machine - FSM).

- במודל מילי מוצא המערכת תלוי במשתני המצב הנוכחי ומשתני הכניסה.
- במודל מור מוצא המערכת תלוי אך ורק במשתני המצב הנוכחי.

מכונת Mealy:

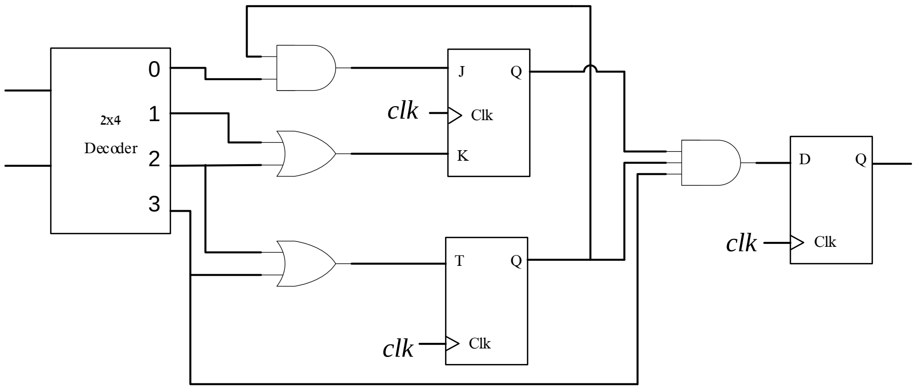


מכונת Moore:



שאלות:

1) לפניך התרשים הלוגי הבא:

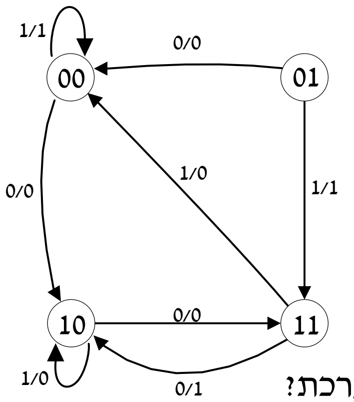


א. כתוב את משוואות הכניסה לדלגלגים.
ב. כתוב את משוואות המצב ומשוואות הפלט.
ג. כתוב טבלת מצבים וטבלת עירור.
ד. צייר דיאגרמת מצבים מתאימה.

2) לפניך טבלת מצבים של מערכת סינכרונית כלשהי.
המעגל שמממש את המערכת מורכב מ-2 T-FF והמוצאים מחוברים ל-2 D-FF.

P.S.	input	N.S.	outputs		עירורי כניסה	
(Labeled)	x_1x_0	(Labeled)	z_1	z_0	$T_1\ T_0$	$D_1\ D_0$
0	00	0	0	0		
0	01	1	0	0		
0	10	2	0	0		
0	11	3	0	0		
1	00	1	0	0		
1	01	2	0	0		
1	10	3	0	0		
1	11	0	0	1		
2	00	2	0	0		
2	01	3	0	0		
2	10	0	1	1		
2	11	1	1	1		
3	00	3	0	0		
3	01	0	0	1		
3	10	1	1	1		
3	11	2	1	1		

א. מהם תפקידי המוצאים?
ב. השלם את עירורי הכניסות של הדלגלגים.
ג. מצא את משוואות הכניסה ומשוואות הפלט של המעגל.
ד. ממש את המעגל.



(3 לפניך דיאגרמת המצבים הבאה :

א. ענה על השאלות הבאות :

i. כמה מצבים פנימיים יש למערכת?

ii. מאיזה סוג הדיאגרמה? (מילי / מור)

iii. כמה דלגלגים צריך בכדי לממש את המערכת? האם ניתן לקבוע מהדיאגרמה באלו דלגלגים יש להשתמש?

iv. כמה משתני כניסה וכמה משתני מוצא יש למערכת?

ב. כתוב טבלת מצבים מתאימה וטבלת עירור מתאימה. הנח כי כל המצבים הפנימיים ממומשים באמצעות JK-FF וכי המוצא מחובר ל- D-FF.

ג. ממש את המעגל הלוגי המתאים לדיאגרמה.

(4 נתונה מערכת סינכרונית בעלת כניסה בינארית אחת x ויציאה בינארית אחת z המשתמשת עבור Y_0 ב- JK-FF ועבור Y_1 ב- T-FF.

נתונות משוואות הכניסה ומשוואת הפלט הבאות :

$$J=\bar{x}y_0+\bar{y}_1 \quad ; \quad K=x+y_1 \quad ; \quad T=\bar{x}+\bar{y}_0 \quad ; \quad z=y_0y_1 .$$

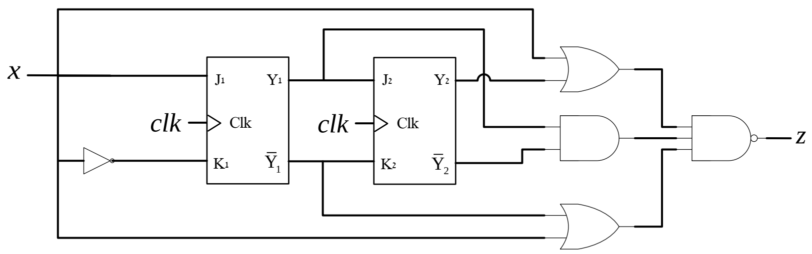
ה-Reset הוא במצב 00.

א. האם המערכת מתאימה למודל מילי או מור? נמק.

ב. תן טבלת מעברים (מצבים) מתאימה וטבלת תפוקות (עירור) מתאימה.

ג. צייר דיאגרמת מצבים מתאימה.

(5 נתון המעגל הבא :



א. יש לרשום את פונקציות העירור ופונקצית הפלט.

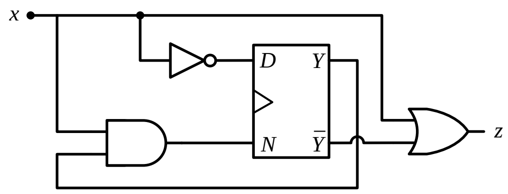
ב. יש לבנות טבלת מצבים וטבלת עירור.

ג. יש לצייר את דיאגרמת המצבים ולתאר את פעולת המערכת. הנח מצב התחלתי $y_1y_2=01$.

6) נתון דלגלג DN-FF כמתואר באופן הבא:

$D\ N$	Y
0 0	1
0 1	y
1 0	$\overline{y}$
1 1	0

א. כתבו את המשוואה האופיינית של הדלגלג בייצוג SOP מינימלי.
ב. כתבו את טבלת העירור של הדלגלג.
ג. ממשו דלגלג מסוג JK-FF באמצעות הדלגלג DN-FF ומינימום שערים.
ד. ממשו דלגלג מסוג T-FF באמצעות הדלגלג DN-FF ומינימום שערים.
ה. לפניכם המעגל הבא:

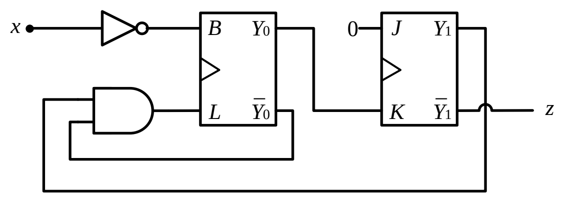


(1) כתבו את משוואת המצב הבא, Y, כתלות בערכי הכניסה ומשתני המצב.
(2) כתבו את משוואת המוצא של המעגל, z, כתלות בערכי הכניסה ומשתני המצב.
(3) * הציעו מימוש חלופי באמצעות דלגלג ידוע ומינימום שערים לוגים המבצע את אותה הפעולה.
רמז: התבוננו במשוואות שקיבלתם ומצאו דלגלג המבצע את אותה הפעולה.

7) דלגלג מסוג BL-FF כמתואר באופן הבא :

$B\ L$	Y
0 0	$\bar{y}$
0 1	y
1 0	y
1 1	y

א. כתבו את המשוואה האופיינית של הדלגלג בייצוג SOP מינימלי.
ב. כתבו את טבלת העירור של הדלגלג.
ג. ממשו את הדלגלג BL-FF באמצעות דלגלג מסוג T-FF ומינימום שערים.
ד. לפניכם המעגל הבא :

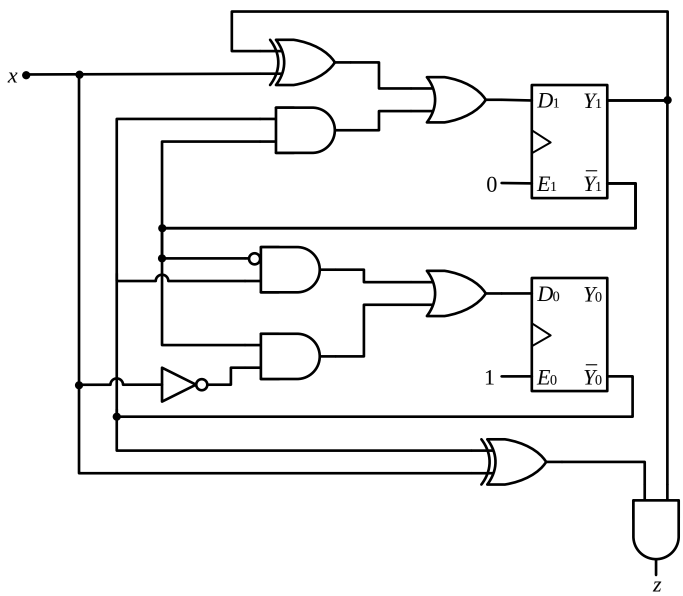


(1) כתבו את משוואת המצב הבא, Y_0 , כתלות בערך הכניסה ומשתני המצב.
(2) כתבו את משוואת המצב הבא, Y_1 , כתלות בערך הכניסה ומשתני המצב.
(3) כתבו את משוואת המוצא של המעגל, z , כתלות בערך הכניסה ומשתני המצב.

8) דלגלג מסוג DE-FF כמתואר באופן הבא :

$D\ E$	Y
0 0	y
0 1	y
1 0	$\bar{y}$
1 1	$\bar{y}$

א. כתבו את המשוואה האופיינית של הדלגלג בייצוג SOP מינימלי.
ב. כתבו את טבלת העירור של הדלגלג.
ג. ממשו את הדלגלג DE-FF באמצעות דלגלג מסוג T-FF ומינימום שערים.
ד. נתונה מערכת עקיבה סינכרונית אשר מומשה בעזרת DE-FF.
ידוע כי המערכת מתעוררת במצב התחלתי : $y_1y_0 = 10$.



(1) מהן משוואות המצב והתפוקה של המערכת?
(2) מהי טבלת המעברים והתפוקה של המערכת?
(3) ציירו את דיאגרמת המצבים המצומצמת המתארת את המערכת.
(4) האם מספר המצבים של המערכת היה שונה במידה והמצב ההתחלתי היה אחר?

תשובות סופיות:

1) א. $D = xyQ_AQ_B$, $T = y$, $K = x \oplus y$, $J = \bar{x}\,\bar{y}\,Q_B$.

ב. $z = xyQ_AQ_B$, $Q_B(t+1) = y \oplus Q_B$, $Q_A(t+1) = \overline{x \oplus y}Q_A$.

ג. ראה טבלה מתאימה בסרטון הוידאו.

ד. ראה דיאגרמה מתאימה בסרטון הוידאו.

2) א. המוצא z_0 מחזיר את ה-carry של הסכום $x_1x_0 + y_1y_0$ והמוצא z_1 מחזיר 1 כאשר המכפלה $(x_1x_0)\cdot(y_1y_0)$ מחזירה מספר הגדול מ-2 ביטים.

ב. ראה את ערכי העירורים בטבלה שבסרטון הוידאו.

ג. $z_0 = x_1y_1 + x_1x_0y_0 + x_0y_1y_0$, $z_1 = x_1y_1$, $T_1 = x_1\bar{x}_0 + x_1\bar{y}_0 + \bar{x}_1x_0y_0$, $T_0 = x_0$.

ד. ראה מימוש בסרטון הוידאו.

3) א. i. 4 מצבים. ii. mealy. iii. 2 דלגלגים. לא נין לקבוע מהדיאגרמה.

iv. משתנה כניסה אחד ומשתנה מוצא אחד.

ב. ראה טבלת מצבים מלאה בסרטון הוידאו.

ג. ראה מימוש בסרטון הוידאו.

4) א. מודל Moore. ב. ראה טבלה מלאה בסרטון הוידאו.

ג. ראה דיאגרמת מצבים בסרטון הוידאו.

5) א. $z = y_2 + \bar{x} + \bar{y}_1$, $K_2 = \bar{y}_1$, $J_2 = y_1$, $K_1 = \bar{x}$, $J_1 = x$.

ב. ראה טבלת מלאה בסרטון הוידאו.

ג. ראה דיאגרמת מצבים בסרטון הוידאו.

6) א. $Y(D,N,y) = \bar{N}\bar{y} + \bar{D}y$ ב. ראו טבלה בסרטון הוידאו.

ג. ראו מימוש בסרטון הוידאו. ד. ראו מימוש בסרטון הוידאו.

ה. (1) $Y = x + \bar{y}$ ה. (2) $z = x + \bar{y}$ ה. (3) ראו מימוש בסרטון הוידאו.

7) א. $Y(B,L,y) = y(B+L) + \bar{y}\cdot\overline{B+L} = y \odot (B+L)$

ב. ראו מימוש בסרטון הוידאו.

ג. (1) $Y_0 = \bar{x}y_0 + x\bar{y}_0\bar{y}_1$ ג. (2) $Y_1 = xy_1 + y_1\bar{y}_0$ ג. (3) $z = \bar{y}_1 + \bar{x}y_0$.

8) א. $Y(D,E,y) = y \oplus D$ ב. ראו טבלת עירור בסרטון הוידאו.

ג. ראו מימוש בסרטון הוידאו.

ד. (1) $z = xy_1y_0 + \bar{x}y_1\bar{y}_0$, $Y_0 = y_1 + xy_0 + \bar{y}_0\bar{x}$, $Y_1 = x + \bar{y}_0\bar{y}_1$

ד. (2) ראו טבלת מעברים בסרטון הוידאו.

ד. (3) ראו דיאגרמת מצבים בסרטון הוידאו.

ד. (4) לא, מכיוון שאין קבוצת מצבים נפרדת.

צמצום מצבים:

סיכום כללי:

הגדרה:

מצב a הוא מיותר אם ורק אם קיים מצב אחר b שאינו בר-הבחנה ממנו, כלומר זהה לו. (נקראים: Indistinguishable States).

הגדרה:

שני מצבים a ו- b נקראים שקולים (Equivalent) אם ורק אם עבור כל סדרת כניסה אפשרית ל- a ול- b מתקבלות אותן סדרות מוצא (עבור כל סדרת כניסה).
במקרה זה נסמן: $a = b$.

הגדרה (הכללה):

המצבים $s_1 , s_2 , \ldots , s_r$ שקולים זה לזה אם ורק אם לכל סדרת כניסה אפשרית עבור כל אחד מהמצבים תתקבל סדרת מוצא זהה בכולם כאשר כל אחד מהם הוא המצב ההתחלתי של המערכת.

שקילות בין מצבים משמעה:

1. רפלקסיביות (Reflexivity): $a = a$.
2. סימטריות (Symmetry): אם $a = b$ אז $b = a$.
3. כלל המעבר (Transitivity): אם $a = b$ וגם $b = c$ אז $a = c$.

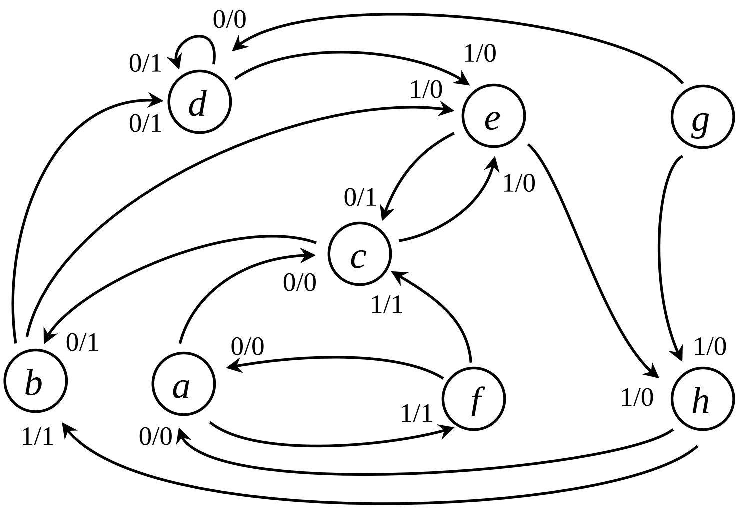
משפט:

שני מצבים a ו- b של טבלת מצבים המוגדרת לחלוטין נקראים שקולים אם עבור כל צירוף כניסה:

1. המוצאים שלהם זהים.
2. המצבים הבאים (Next States) אליהם הם עוברים גם שקולים.

שאלות:

1) נתונה דיאגרמת המצבים הבאה:



א. כתוב טבלת מצבים מתאימה.

ב. צמצם את הטבלה.

ג. הגדר מצבים חדשים לפי הצמצום שקיבלת.

ד. סרטט דיאגרמת מצבים מצומצמת.

2) צמצם את טבלת המצבים הבאה:

P.S.	N.S. / Output (z) $x=0$	N.S. / Output (z) $x=1$
a	$c/0$	$i/0$
b	$j/1$	$c/0$
c	$c/0$	$e/0$
d	$j/1$	$f/0$
e	$c/0$	$f/1$
f	$a/0$	$i/0$
g	$d/1$	$b/1$
h	$c/0$	$i/0$
i	$a/0$	$f/1$
j	$a/0$	$j/0$

תשובות סופיות:

1) א. להלן טבלת מצבים:

P.S.	N.S. / Output (z) $x=0$	N.S. / Output (z) $x=1$
a	$c/0$	$f/1$
b	$d/1$	$e/0$
c	$b/1$	$e/0$
d	$d/1$	$e/0$
e	$c/1$	$h/0$
f	$a/0$	$c/1$
g	$d/0$	$h/0$
h	$a/0$	$b/1$

ב. טבלה מצומצמת (עם הקצאת משתנים):

P.S.	N.S. / Output (z) $x=0$	N.S. / Output (z) $x=1$
A	$B/0$	$E/1$
B	$B/1$	$C/0$
C	$B/1$	$E/0$
D	$B/1$	$E/0$
E	$A/0$	$B/1$

ג. עיין בסרטון הוידאו להקצאת המשתנים A,B,C,D,E.

ד. עיין בסרטון הוידאו.

2) להלן טבלת מצומצמת:

P.S.	N.S. / Output (z) $x=0$	N.S. / Output (z) $x=1$
A	$A/0$	$C/0$
B	$E/1$	$A/0$
C	$A/0$	$A/1$
D	$B/1$	$B/1$
E	$A/0$	$E/0$

אלגוריתם Moore לצמצום מצבים:

תלמידים יקרים!

נושא זה הינו חלק מהפרק המורחב של גול "מערכות סינכרוניות" ויש ללמוד אותו רק אם הוא מופיע בסרטוני הוידאו בקורס המותאם למוסד ולחוג שלכם.

סיכום כללי:

מצבים יתירים (Redundant States):

שני מצבים a ו- b ייקראו יתירים אם הפונקציה שהם ממלאים היא זהה.
במילים אחרות, אין צורך במערכת הכוללת את שניהם וניתן להסתפק באחד בלבד.
ככללה, בתכנון מערכת על פי תיאור מילולי, ייתכנו מצבים יתירים שנרצה לאתר ולצמצם.

בצמצום ע"י טבלת גרירה (Implication Table) נעזרנו בתכונת השקילות של מצבים.
באלגוריתם Moore נעזר בתכונת ההפרדה שבין מצבים.
כלומר במקום לאתר מצבים שקולים, נתמקד כעת באיתור אי-שקילות בין מצבים.

הגדרה:

שני מצבים s_i ו- s_j של מכונה M נקראים בני הפרדה (Distinguishable) אם קיימת סדרת כניסה אחת לפחות שתגרום למכונה M לספק יציאות שונות עבור מצב התחלתי s_i בהשוואה ל- s_j.
לסדרה זו נקרא בשם **סדרת ההפרדה של המצבים**, או בקיצור **סדרת הפרדה**.

הגדרה:

שני מצבים s_i ו- s_j של מכונה M נקראים k-בני הפרדה (k-Distinguishable) אם קיימת עבורם סדרת הפרדה באורך k.

הגדרה:

שני מצבים s_i ו- s_j נקראים שקולים (Equivalent) אם ורק אם עבור **<u>כל</u>** סדרת כניסה אפשרית, המכונה M מפיקה את אותו המוצא בין אם המצב ההתחלתי הוא s_i או s_j.

נסמן יחס שקילות: $s_i \sim s_j$ ונאמר כי מצבים שקולים מקיימים:

- רפלקסיביות: $s_i = s_i$.
- סימטריות: $s_i \sim s_j \Rightarrow s_j \sim s_i$.
- טרנזיטיביות: $s_i \sim s_j \ , s_i \sim s_k \quad \Rightarrow \quad s_j \sim s_k$.

מסקנות:

- מצבים שקולים אינם בני הפרדה.
- אם שני מצבים הם k שקולים אז הם אינם בני k הפרדה.

יחסי שקילות מגדירים חלוקה של קבוצת של המצבים למחלקות שקילות, הנקראות Partition ויסומנו ע"י P. החיתוך של שתי מחלקות שקילות שונות הוא קבוצה ריקה (זרות הדדית).

הגדרות נוספות:

k שקילות הוא גם יחס שקילות ומקיים שאם s_i ו- s_j שקולים אז הם k שקולים לכל k.
באותו האופן נוכל לומר כי אם: s_i ו- s_j הם k שקולים אז הם r שקולים לכל $r < k$.

סיכום שלבי האלגוריתם:

נמצא את מחלקות השקילות בעלות כמות המצבים המינימליים באמצעות אלגוריתם Moore. כך נוכל למצוא מכונה שקולה M', המכילה מספר מצבים קטן משל המכונה המקורית M ומבצעת את אותן הפעולות של M.

1) מתחילים ברישום כל המצבים שהם 0-שקולים: P_0 (הכוללת את כל המצבים).
2) מבצעים חלוקה של P_0 למצבים שהם 1-שקולים (כלומר 1-בני הפרדה) ובכך מקבלים את החלוקה P_1.
3) ממשיכים בחלוקה עבור P_1 לקבלת P_2 ע"י מציאת מעברים של מצבים בין מחלקות שקילות שונות ביחס לחלוקה הקודמת לחלוקה נוכחית.
4) החלוקה תסתיים בשלב ה- k אם מתקיים: $P_k = P_{k+1}$.

לתנאי $P_k = P_{k+1}$ קוראים **תנאי העצירה של האלגוריתם** ומשמעו כי לא ניתן למצוא חלוקות נוספות. לחלוקה P_k נקרא בשם **חלוקת השקילות** של המכונה.

סדרות הפרדה:

בכל חלוקה נרשום בצד (או מעל הקבוצה המתאימה) את סדרת ההפרדה.
עבור כניסה בת n ביטים ייתכנו עד 2^n סדרות הפרדה שונות בין חלוקה לחלוקה העוקבת לה. לכן בכל מעבר חשוב לרשום את כל האפשרויות. בסיום האלגוריתם יש לקחת את כל האפשרויות של סדרות ההפרדה מהסוף להתחלה.

משפט:

חלוקת השקילות P_k (לכל k) היא יחידה.

משפט:

עבור מכונה בעלת N מצבים, האלגוריתם ייעצר לכל היותר לאחר $N-1$ איטרציות.

מסקנה:

האלגוריתם מכיל תנאי עצירה שתמיד יתקיים ויניב את החלוקה המינימלית של מצבים שקולים אשר היא החלוקה היחידה של המערכת.

שקילות בין מכונות שונות:

מטרת הצמצום היא למצוא מכונה, השקולה למכונה המקורית, ומכילה את מספר המצבים המינימלי הנדרש על מנת לקיים את הפעולה הרצויה.

מכונות שקולות:

שתי מכונות M ו-M' תיקראנה שקולות אם לכל מצב ב- M קיים מצב שקול ב-M' והמצבים ההתחלתיים שלהן זהים.

בהינתן מכונה M, נרצה למצוא מכונה M' השקולה ל- M ובעלת מספר מצבים מינימלי.
נקרא למכונה M' : הצורה המינימלית / המצומצמת של M.
כל מצב במכונה M' יתאים למחלקת שקילות במכונה המקורית M.

שאלות:

1) נתונה מערכת עקיבה עם שתי כניסות x_1x_2 ומוצא z ולה טבלת המצבים הבאה:

	N.S. / Output (z)			
P.S.	$x_1x_2=00$	$x_1x_2=01$	$x_1x_2=10$	$x_1x_2=11$
A	$F/0$	$F/0$	$C/1$	$E/0$
B	$G/0$	$D/0$	$A/1$	$B/0$
C	$H/0$	$G/0$	$A/0$	$D/1$
D	$E/0$	$B/0$	$H/0$	$C/1$
E	$G/0$	$F/0$	$D/1$	$E/0$
F	$G/0$	$C/0$	$H/1$	$B/0$
G	$G/0$	$C/0$	$E/1$	$F/0$
H	$F/0$	$G/0$	$D/1$	$E/0$

א. צמצם את הטבלה.

ב. האם המצבים A ו-B הם בני הפרדה?
אם כן אז מהו k, כמה סדרות הפרדה קיימות עבורן? כתוב אותן.

ג. האם המצבים A ו-F הם בני הפרדה?
אם כן אז מהו k, כמה סדרות הפרדה קיימות עבורן? כתוב אותן.

ד. האם המצבים A ו-H הם בני הפרדה?
אם כן אז מהו k, כמה סדרות הפרדה קיימות עבורן? כתוב אותן.

2) נתון הפלט של אלגוריתם Moore לצמצום מצבים של מכונת עקיבה:

$P_0=\{A,B,C,D,E,F,G,H\}$

$P_1=\{A,B,C,D,E,F,G\}\{H\}$

$P_2=\{A\}\{B\}\{C,D\}\{E,G\}\{F\}\{H\}$

א. קבע ונמק האם למערכת ישנו מוצא אחד או שניים.
אם לא ניתן לדעת הסבר מדוע.

ב. קבע ונמק מהו מספר הכניסות המינימלי שנדרש למערכת.

ג. בהנחה שמתקבלת החלוקה: $P_2=\{A\}\{B\}\{C\}\{D\}\{E,G\}\{F\}\{H\}$
במקום החלוקה הנתונה, כיצד ישתנו התשובות לסעיפים א'-ב' לעיל?

3) בתהליך הצמצום של טבלת מצבים של מערכת עקיבה סינכרונית, התקבלה השורה: $P_1=P_2$. אלו מהטענות הבאות נכונות:

א. ניתן לממש את המערכת עם רכיב זיכרון אחד בלבד.

ב. כל שורות הטבלה הלא המצומצמת (כלומר: המקורית) ניתנות לסידור ל-2 מחלקות בדיוק.

ג. אם למכונה כניסה אחת ויציאה אחת בלבד, אז ניתן לממש אותה באמצעות 2 רכיבי זיכרון לכל היותר.

ד. אם למכונה כניסה אחת ויציאה אחת בלבד, אז ניתן לממש אותה באמצעות רכיב זיכרון אחד בלבד.

ה. אם למכונה כניסה אחת ויציאה אחת בלבד, אז ניתן למשש אותה באופן צירופי לחלוטין ללא צורך ברכיבי זיכרון.

4) נתונה מערכת בעלת כניסה אחת x ומוצא אחד z.
יציאת המערכת תהיה $z=1$ אם ורק אם המספר הבינארי (הרב ספרתי) המתקבל באופן טורי בקלט (כאשר ה-LSB נכנס ראשון) הוא חיובי המתחלק ב-16 ללא שארית.
מהו מספר המצבים במכונה כזו לאחר שימוש באלגוריתם Moore לצמצום מצבים?

5) נתונה מערכת סינכרונית לעיבוד Big-Data המכילה 2^{140} מצבים.
למערכת 4 כניסות ו-5 יציאות (כלומר 5 סדרות מוצא שונות).
נרצה להשתמש באלגוריתם Moore לצמצום המצבים.
מה הוא המספר המקסימלי של מחלקות השקילות שייתכנו בחלוקה P_1?

6) נתונה מערכת עקיבה עם כניסה אחת ושני מוצאים.
איזו מהטענות הבאות נכונה בוודאות?

א. בתהליך הצמצום התקבל: $P_0 = P_1$.

ב. בסיום הצמצום לפי אלגוריתם Moore התקבלו מחלקות השקילות שבכל אחת מצב אחד בלבד (כלומר אין שני מצבים שקולים בטבלת המצבים של המערכת).

ג. אם במוצא ישנן רק שתי סדרות אפשריות, אז לא ייתכנו מעל ל-16 מחלקות שקילות בצמצום הסופי.

ד. מכונה שכזו לא תיתכן כי לא ניתן לשלוט בשני משתני מוצא עם משתנה כניסה אחד.

7) נתונה מכונה סינכרונית בעלת N מצבים (כאשר $N > 4$).
נעזרים באלגוריתם Moore על מנת לצמצם את מצבי המכונה.
כידוע, האלגוריתם מתחיל מחלוקה P_0 הכוללת את כל מצבי המכונה,
ועוצר כאשר $P_k = P_{k+1}$.
ידוע כי בסוף ריצת האלגוריתם, חלוקת השקילות מכילה $N-3$ מחלקות שקילות.
איזה מהמשפטים הבאים הוא נכון? נמק.

א. $k = N-1$.

ב. k יכול להיות כל מספר בתחום: $k \geq 1$.

ג. k חייב להיות קטן מ-3.

ד. k יכול להיות כל מספר בתחום: $1 \leq k \leq N-4$.

ה. k יכול להיות כל מספר בתחום: $1 \leq k \leq N-3$.

תשובות סופיות:

1) א. $P_2 = P_3 = \{A, E, H\}\{B, F, G\}, \{C, D\}$

ב. כן, $k = 2$. סדרות הפרדה: 0111, 0110, 1011, 1010.

ג. כן, $k = 2$ ואותן סדרות הפרדה. ד. לא.

2) א.

3) טענה ג' בלבד נכונה.

4) 7 מצבים.

5) 2^{80} מחלקות שקילות מקסימליות עבור החלוקה P_1.

6) טענה ג' בלבד נכונה.

7) המשפט של סעיף ד.

תכנון (סינתזה) של מכונת מצבים סינכרונית:

סיכום כללי:

שלבים בתכנון מערכת סינכרונית סדרתית:

1. סרטוט דיאגרמת מצבים (State Diagram).
2. צמצם מצבים (במידה ואפשר) (State Reduction).
3. הקצאת משתנים (State Assignment).
4. כתיבת טבלת מצבים (State/Transition Table).
5. כתיבת משוואות עירור ומשוואות פלט (Excitation and Output Equations).
6. מימוש לוגי של המעגל (Implementation).

שאלות:

1) יש לסרטט דיאגרמות מצבים מצומצמות עבור התיאורים הבאים:

א. מכונה בעלת כניסה אחת x ויציאה אחת z המוציאה $z=1$ אם ורק אם שלושת סיביות הקלט האחרונות היו 101. (למשל עבור 10101010 יתקבל במוצא 00101010).

ב. מכונה בעלת כניסה אחת x ויציאה אחת z המוציאה $z=1$ אם ורק אם שלושת סיביות הקלט האחרונות היו 101 אך ללא חפיפות בין הסדרות. (למשל עבור 10101010 יתקבל במוצא 00100010).

ג. מכונה בעלת כניסה אחת x ויציאה אחת z המוציאה $z=1$ אם ורק אם שלושת סיביות הקלט האחרונות היו 101 והן התחילו במקום שהוא כפולה של 3. לשם הדוגמא, נספור את סיבית הכניסה הראשונה בתור 1. (למשל עבור 101010101010 יתקבל במוצא 000010000010).

2) יש לצייר דיאגרמת מצבים עבור המערכת הבאה:

א. מערכת המקבלת רצף של ביטים בכניסה x ומוציאה $z=1$ למשך מחזור שעון אחד בלבד רק אם התקבלו שלושה ערכים של 1 (לאו דווקא ברצף) עד למחזור השעון הנ״ל.
לאחר מכן המוצא חוזר ל- $z=0$ והספירה מתחילה מחדש.

ב. איזה שינוי יש לבצע כדי ש:

i. במקום ספירה של שלושה ערכי 1 המערכת תספור ארבעה ערכי 1?

ii. במקום ספירה של שלושה ערכי 1 המערכת תספור שלושה ערכי 0?

3) סרטט דיאגרמת מצבים של מכונה בעלת כניסה אחת x ומוצא אחד z המבצעת:
אם התקבל הרצף 011 המוצא יוציא 111 (במשך שלושה מחזורי השעון הבאים).
בכל מצב אחר המוצא יהיה 0. לשם הפשטות הנח כי במשך מחזורי השעון בהם המוצא $z=1$, כניסות המערכת לא נספרות עבור מאורע חדש, אלא רק לאחר ש- z חוזר ל-0.

4) יש לתכנן מערכת סינכרונית בעלת כניסה אחת x ויציאה אחת z.
המערכת מוציאה $z=1$ למשך מחזור שעון אחד אם מתקבלת סדרה שבה 3 הסיביות האחרונות בכניסה הן 111 או 101 (כולל חפיפות).
בתחילה מוצא המערכת הוא 0.

א. רשום דיאגרמת מצבים לפי מודל Mealy וקבע את כמות הדלגלגים הנדרשת.

ב. רשום דיאגרמת מצבים לפי Moore והסבר את השינויים שיש לבצע במכונת המצבים.

5) אנרגיה של אות מוגדרת בתור ריבוע מערכו המוחלט (העשרוני).
כך למשל אות המיוצג כמספר בינארי 101, שערכו העשרוני הוא 5, הוא בעל אנרגיה 25.

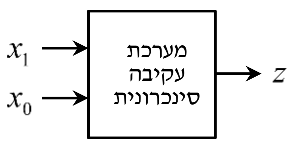
א. סרטט דיאגרמת מצבים עבור מערכת שמקבלת אות המיוצג ע"י מספר בינארי בין 2 ביטים בכניסה ומוציאה את הערך (הבינארי) של האנרגיה שלו. הגדר כניסות ויציאות בהתאם.

ב. צמצם את הדיאגרמה שקיבלת והקצה משתנים בהתאם.

ג. כתוב טבלת מצבים ומשוואות מתאימות עבור מימוש באמצעות T-FF.

6) בשאלה זו נדרש לתכנן מערכת עקיבה סינכרונית המקבלת בשתי כניסותיה x_0 , x_1 אחד משלושה ערכי צבעים של רמזור:

קידוד x_1x_0	צבע
00	אדום
01	צהוב
10	ירוק



מוצא המערכת הוא $z=1$ רק במעבר מצבע אדום לצהוב ומצהוב לירוק (ולא להיפך).
בכל מעבר אחר המערכת תפיק $z=0$.
כאשר מתקבל צבע אדום לאחר צבע ירוק, המערכת תשמור על המוצא z האחרון שהיה.

א. סרטטו דיאגרמת מצבים מצומצמת של המערכת במודל Mealy.
אפשר להתעלם ממצב ה-RESET.

ב. סרטטו דיאגרמת מצבים מצומצמת של המערכת במודל Moore.
אפשר להתעלם ממצב ה-RESET.

7) נתונה מערכת עקיבה סינכרונית בעלת כניסה x ומוצא z.
המערכת תפיק $z=1$ אם בכניסה הנוכחית ובשתי הכניסות שקדמו לה ערכי ה-x הם בהתאמה: ערך כלשהו, ערך זה פעם נוספת, והערך המשלים שלו.
כלומר בפולס השעון ה-n-י אם: $x[n]=x[n-1]=\bar{x}[n-2]$ אז $z[n]=1$, אחרת $z[n]=0$.
ניתן להתעלם מהתפוקה בשני פולסי השעון הראשונים.

א. יש לתכנן דיאגרמת מצבים מינימלית במודל Mealy למערכת הנ"ל.
ב. יש לתכנן דיאגרמת מצבים מינימלית במודל Moore למערכת הנ"ל.

8) בשאלה זו נתכנן מכונה המקבלת מחרוזת ביטים כאות כניסה x (Bit Stream) ומוציאה מחרוזת ביטים דרך מוצא יחיד z. החוקיות של המכונה היא הבאה: בכל פעם שמתגלה רצף של שני ערכים לוגים זהים (כלומר: 00 או 11) המוצא יוציא 1, אחרת $z=0$. אין חפיפות בין הערכים, כלומר עבור רצף כניסה 0000 המוצא יהיה 0101 ולא 0111.

א. סרטט דיאגרמת מצבים ממודל Mealy.
ב. כתוב טבלת מעברים מתאימה.
ג. הוסף לטבלת המעברים טבלת עירור עבור מימוש באמצעות שני T-FF.
ד. כתוב את משוואות העירור ומשוואת הפלט (היעזר בצירופים אדישים על מנת לפשט את הביטויים).
ה. ממש את המעגל.
ו. נתח את המעגל שמימשת (טבלת מצבים ודיאגרמת מצבים) וקבע:
   i. האם המימוש מתאים לדרישה.
   ii. האם ישנו שימוש לא תקין במצבים הבלתי מיושמים (Unused states)? אם כן – הצע דרך לתיקון. אם לא נמק מדוע המימוש הינו תקין.
   iii. האם המערכת (במימוש שעשית) היא self-starting?

9) יש לתכנן מערכת סדרתית בעלת כניסה אחת x ויציאה אחת z.
המוצא z יהיה שווה ל-1 אם שלושת הערכים האחרונים שהתקבלו בכניסה הם 1, אחרת $z=0$.
למשל:

$x:\ 0\,1\,0\,1\,1\,0\,1\,1\,1\,1\,0\,0\,1$

$z:\ 0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,1\,1\,0\,0\,0$

הנח כי כאשר מדליקים את המעגל $z=0$.

א. צייר דיאגרמת מצבים.
ב. כתוב טבלת מצבים מתאימה.
ג. ממש את המעגל באמצעות דלגלגים מסוג T-FF.

10) בשאלה זו נתכנן מסנן אשר מקבל רצף של ערכים לוגים דרך אות כניסה x באורך לא ידוע ומוציא רצף ביטים z. כאשר מפעילים את המערכת המוצא מקבל את ערך הביט הראשון שבכניסה. המוצא ישנה את ערכו אם בכניסה מתגלים שלושה ערכים זהים ברצף שהם בעלי ערך הפוך לערך הנוכחי שבמוצא.
כלומר:

x: 0 1 0 1 1 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 0

z: 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1

א. צייר דיאגרמת מצבים מתאימה ממודל Mealy.

ב. צמצם מצבים במידת האפשר וכתוב טבלת מעברים מצומצמת.

ג. כתוב משוואות מצב ומשוואת פלט מתאימות.

ד. כתוב משוואות עירור עבור מימוש באמצעות D-FF.

ה. ממש את המעגל.

ו. האם המעגל הוא self-starting? אם כן נמק, אם לא הצע פתרון לתקן את הבעיה.

11) תכנן מעגל סדרתי בעל שתי כניסות x_0 ו- x_1 ויציאה אחת z.
זוג אותות הכניסה מייצג את 4 האותיות היווניות הראשונות:
$\alpha=00$, $\beta=01$, $\gamma=10$, $\delta=11$.
המוצא z שווה ל-1 רק כאשר מופיעות אותיות סמוכות לפי סדר הא"ב היווני - שהוא: α , β , γ , δ.
כלומר בכניסות $\alpha\beta$, $\beta\gamma$, $\gamma\delta$ המוצא יהיה 1, אך בכניסות כגון $\alpha\gamma$ או $\delta\alpha$ המוצא הוא 0. יש לממש את המעגל באמצעות JK-FF בלבד.

12) מערכת סדרתית כוללת 4 דלגלגים. בטרם הפעלת המערכת רושמים מספר בינארי A בתחום $0\le A\le 10$ (כלומר: $0000\le(A)_2\le 1010$).
לאחר כל מחזור שעון נרשם במערכת מספר $A-5$ (מספר הקטן ב-5 מהמספר הקודם), כלומר המערכת מבצעת חיסור של 5 מהמספר הנבחר.
כאשר תוצאת החיסור שלילית כל הדלגלגים מתאפסים וביציאת המערכת מקבלים 1.

א. סרטט דיאגרמת מצבים מתאימה.

ב. היעזר בדיאגרמה שעשית וכתוב טבלת מצבים ומשוואות עירור ופלט מתאימות.

ג. ממש את המערכת באמצעות JK-FF.

13) תכנן וממש מעגל בעל שתי כניסות x_1,x_0 ויציאה יחידה z לפי הדרישה הבאה:
על היציאה להיות '1' אם ורק אם המספר הכולל של ה-'1'-ים שהופיע עד כה בכניסות אינו כפולה של 4. את המימוש עליך לבצע באמצעות T-FF.

14) בשאלה זו נתכנן מעגל מסנן מסוג Moving Average (MA) אשר לוקח מספר ערכים סמוכים ומחזיר את ערכם הממוצע. אולם כאן נשנה מעט את מהות המסנן ונסתפק בהחזרת הערך הבינארי של רצף הביטים הסמוכים.

תכנן מעגל סדרתי עם כניסה אחת x ושתי יציאות z_1 ו- z_0
כך שצירוף הסיביות z_1z_0 צריך לייצג בבסיס 2 את מספר הפעמים מבין 3 הכניסות האחרונות שבהן הייתה הכניסה 1.
הנח כי ברגע הפעלת המעגל המוצא הוא $z_1z_0 = 00$.
יש לצייר דיאגרמת מצבים מתאימה וטבלת מצבים מתאימה עבור מימוש באמצעות רכיבי זיכרון מסוג SR-FF בלבד. כתוב את משוואות העירור ומשוואות הפלט של המעגל (אין צורך במימוש).

תשובות סופיות:

1) א. ראה דיאגרמת מצבים מלאה בסרטון הוידאו.
ב. ראה דיאגרמת מצבים מלאה בסרטון הוידאו.
ג. ראה דיאגרמת מצבים מלאה בסרטון הוידאו.

2) א. ראה דיאגרמת מצבים בסרטון הוידאו.
ב. i. יש להוסיף עוד מצב.
ii. נחליף כניסות מ-1 ל-0.

3) ראה סרטוט דיאגרמה מלאה בסרטון הוידאו.

4) א. 2 רכיבי זכרון - ראה דיאגרמת מצבים מתאימה בסרטון הוידאו.
ב. יש צורך ב-4 מצבים אך עדיין 2 רכיבי זכרון. המוצא: $z = y_1 y_0$.

5) ראה פתרון מלא בסרטון הוידאו.

6) ראה דיאגרמות בסרטון הוידאו.

7) ראה דיאגרמות בסרטון הוידאו.

8) א. ראה דיאגרמה בסרטון הוידאו.
ב. ראה טבלת מעברים מתאימה בסרטון הוידאו.
ג. ראה תוספת עירור בסרטון הוידאו.
ד. $T_0 = y_0 + \bar{x}\,\bar{y}_1$; $T_1 = x + y_1$; $z = xy_1 + \bar{x}y_0$.
ה. ראה מימוש בסרטון הוידאו.
ו. i. המימוש מתאים לדרישה אך יש מצב לא תקין.
ii. קיים מצב לא תקין עם מוצא לא תקין.
iii. המערכת היא self starting.

9) ראה פתרון מלא בסרטון הוידאו.

10) ראה פתרון מלא בסרטון הוידאו.

11) ראה פתרון מלא בסרטון הוידאו.

12) ראה פתרון מלא בסרטון הוידאו.

13) ראה פתרון מלא בסרטון הוידאו.

14) ראה פתרון מלא בסרטון הוידאו.

מגבלות של מערכות עקיבה:

תלמידים יקרים!

נושא זה הינו חלק מהפרק המורחב של גול "מערכות סינכרוניות" ויש ללמוד אותו רק אם הוא מופיע בסרטוני הוידאו בקורס המותאם למוסד ולחוג שלכם.

סיכום כללי:

משפט:

מכונת מצבים סופית (FSM) המקבלת קלט מחזורי לעולם תוציא פלט מחזורי במצב המתמיד (לאחר התייצבות על מצב/קבוצת מצבים סופית).

מסקנות מיידית:

- מכונה שמקבלת קלט מחזורי ומפיקה פלט שאינו מחזורי לא ניתנת למימוש כ-FSM.
- באופן דומה נוכל לומר כי אם הקלט אינו מחזורי אז בוודאות הפלט לא יהיה מחזורי.

טענה:

בהינתן חישוב הדורש מספר מצבים אינסופי, נוכל להוכיח כי לא קיימת מכונת FSM בדרך השלילה ע"י בחירת מקרה <u>מייצג</u> שבו עבור סדרת כניסה מסוימת מתקבל מוצא שונה מהרצוי עקב <u>מחזור המכונה</u>.

הערה:

חשוב להבדיל בין חישוב הניתן למימוש ע"י מכונת מצבים סופית לבין כזה שאינו.

חישוב שניתן להמיר בחישוב אחר שהוא מחזורי, ניתן לממש ע"י מספר מצבים סופי.

שאלות:

1) למערכת עקיבה מסוימת יש סיבית קלט אחת x וסיבית פלט אחת z.
המערכת מוציאה $z=1$ אם מספר האפסים ברצף סדרת הכניסה קטן ב-1 ממספר האחדים. להלן דוגמת פלט עבור מחרוזת כניסה מסוימת (הנח בהתחלה כי $z=0$):

x	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
z	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0

האם ניתן לממש את המערכת באמצעות FSM (מכונת מצבים סופית)?
אם כן - רשום דיאגרמת מצבים מתאימה (אין צורך לצמצם).
אם לא - כתוב הוכחה מתאימה.

2) למערכת עקיבה מסוימת יש סיבית קלט אחת x וסיבית פלט אחת z.
המערכת מוציאה $z=1$ אם מספר האחדים במספר הבינארי הכולל המתקבל בכניסה שווה לערכי האיברים של הסדרה הבאה: $a_k=k^2+2k$, $k\in\mathbb{N}$.
להלן דוגמת פלט עבור מחרוזת כניסה מסוימת:

1's count	1	1	1	2	3	3	3	4	5	6	7	8	8	9	10	10	10	11
x	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1
z	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

א. האם ניתן לממש את המערכת באמצעות FSM (מכונת מצבים סופית)?
אם כן – רשום דיאגרמת מצבים מתאימה (אין צורך לצמצם).
אם לא – כתוב הוכחה מתאימה.

ב. על סמך ממציאך מהסעיף הקודם, קבע לגבי כל סדרת מספרים, האם ניתן לממש מערכת דומה באמצעות מספר מצבים סופי:

i. $a_k=k^2$, $k\in\mathbb{N}$.

ii. $a_k=2k$, $k\in\mathbb{N}$.

iii. $a_k=2k+1$, $k\in\mathbb{N}$.

3) למערכת עקיבה מסוימת יש סיבית קלט אחת x וסיבית פלט אחת z.
המערכת מוציאה $z=1$ אם ורק אם המספר הבינארי המתקבל באופן טורי בקלט, כאשר ה-MSB נכנס ראשון, מתחלק ב-6 ללא שארית.
להלן דוגמת פלט עבור מחרוזת כניסה מסוימת:

T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D	1	3	6	12	25	50	101	202	405	810
x	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0
z	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1

האם ניתן לממש את המערכת באמצעות FSM (מכונת מצבית סופית)?
אם כן – רשום דיאגרמת מצבים מתאימה (אין צורך לצמצם).
אם לא – כתוב הוכחה מתאימה.

4) למערכת עקיבה מסוימת יש סיבית קלט אחת x וסיבית פלט אחת z.
המערכת מוציאה $z=1$ אם ורק אם המספר הבינארי המתקבל באופן טורי בקלט, כאשר ה-LSB נכנס ראשון, מתחלק ב-7 ללא שארית.
להלן דוגמת פלט עבור מחרוזת כניסה מסוימת:

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	T
887	375	119	119	55	23	7	7	3	1	D
1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	x
0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	z

האם ניתן לממש את המערכת באמצעות FSM (מכונת מצבים סופית)?
אם כן – רשום דיאגרמת מצבים מתאימה (אין צורך לצמצם).
אם לא – כתוב הוכחה מתאימה.

5) למערכת עקיבה מסוימת יש סיבית קלט אחת x וסיבית פלט אחת z.
המערכת מוציאה $z=1$ אם ורק אם המספר הבינארי המתקבל באופן טורי בקלט, כאשר ה-LSB נכנס ראשון, מתחלק ב-6 ללא שארית.
הסבר האם ניתן לממש מכונה שכזו באמצעות FSM.
האם קיימת בעייתיות כלשהי, אם כן מהי?
כמה מצבים יהיו למערכת שכזו וכיצד ניתן להבדיל בין המצבים?
תוכל להיעזר במחרוזת הדוגמא הבאה:

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	T
875	363	107	107	43	11	11	3	3	1	D
1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	x
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	z

6) למערכת עקיבה מסוימת יש סיבית קלט אחת x וסיבית פלט אחת z.
המערכת מוציאה $z=1$ אם ורק אם מחרוזת הקלט שנראתה עד לרגע זה
($x_1, x_2, \ldots, x_j$) מקיימת את התנאי הבא: בכל מקום j במחרוזת זו שהוא
חזקה שלמה של 10 (כלומר: $j=1,10,100,1000,\ldots$) יש 1 ו-0 בשאר המקומות
(שאינם חזקה שלמה של 10). להלן דוגמת פלט עבור מחרוזת כניסה מסוימת:

T	1	2 9	10	11 99	100	101	102 . . . .
x	1	0 0	1	0 0	1	1	0 . . . .
z	1	1 1	1	1 1	1	0	0 . . . .

האם ניתן לממש מערכת כזו באמצעות מכונת מצבים סופית?
אם כן, סרטט דיאגרמת מצבים מתאימה (אין צורך לצמצם).
אם לא, הוכח זאת באופן מלא.

תשובות סופיות:

1) לא ניתן לממש ע"י FSM. ראה הוכחה בסרטון הוידאו.

2) א. לא ניתן לממש ע"י FSM. ראה הוכחה בסרטון הוידאו.
ב. i. לא ניתן לממש.
ב. ii. כן ניתן לממש ע"י 2 מצבים. iii. כן ניתן לממש ע"י 2 מצבים.

3) ניתן לממש ע"י 6 מצבים - ראה דיאגרמה בסרטון הוידאו.

4) ניתן לממש ע"י FSM – ראה פתרון ודיאגרמה בסרטון הוידאו.

5) 6 מצבים. ראה הסבר מלא בסרטון הוידאו.

6) לא ניתן לממש ע"י FSM. ראה הוכחה בסרטון הוידאו.

מערכות איטרטיביות:

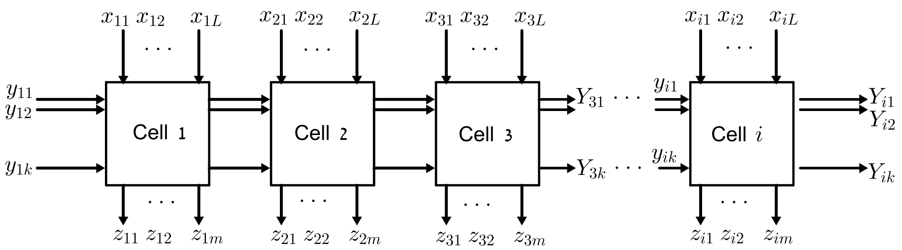
תלמידים יקרים!

נושא זה הינו חלק מהפרק המורחב של גול "מערכות סינכרוניות" ויש ללמוד אותו רק אם הוא מופיע בסרטוני הוידאו בקורס המותאם למוסד ולחוג שלכם.

סיכום כללי:

מבנה כללי של מערכת איטרטיבית:

מערכת איטרטיבית פורשת חישוב מציר הזמן לפרישה מרחבית.
מבנה המערכת מורכב מתאים זהים (לרוב) המעבירים מידע מאחד לשני באופן הבא:



מינוחים:

- למשתני הכניסה נקרא בשם **משתני הכניסה לתא** (cell inputs).
  עבור התא ה- i נסמן את משתני הכניסה לתא באופן הבא: $x_{i1}, x_{i2}, ..., x_{iL}$.
- למשתני המוצא נקרא בשם **משתני המוצא מהתא** (cell outputs).
  עבור התא ה- i נסמן את משתני המוצא מהתא באופן הבא: $z_{i1}, z_{i2}, ..., z_{im}$.
- למשתנים המעבירים את המידע לתוך תא (קרי: משתני המצב הנוכחי) נקרא בשם **כניסת מידע לתא** (cell input carries). נסמנם עבור התא ה- i: $y_{i1}, y_{i2}, ..., y_{ik}$.
- למשתנים המעבירים את המידע מחוץ לתא (קרי: משתני המצב הבא) נקרא בשם **יציאת מידע מהתא** (cell output carries). נסמנם עבור התא ה- i: $Y_{i1}, Y_{i2}, ..., Y_{ik}$.

תכנון של מערכת איטרטיבית:

תכנון של מערכת איטרטיבית בעלת N תאים מתבצע באופן זהה לתכנון מעגל סדרתי:

1) כתיבת דיאגרמת מצבים על בסיס תיאור מילולי או אחר.
2) כתיבת טבלת תא (המקביל לטבלת מצבים בתכנון של מעגל סדרתי).
3) הקצאת משתני מצב והשמת ערכים (state assignment).
4) כתיבת משוואות של משתני המוצא ומשתני יציאת המידע מהתא ה- i.
5) מימוש תא כללי.

תכונות של מימוש איטרטיבי והשוואות אל מול המימוש הסדרתי:

מערכת איטרטיבית	מערכת עקיבה
• ללא זיכרון	• עם זיכרון
• כל הקלטים מוכנים במקביל	• הקלטים מגיעים בזה אחר זה (סדרתי)
• בזבזנית במקום (שימוש ביותר שערים)	• חסכונית במקום (פחות שערים נדרשים)
• מהירה יותר (חוסכת זמני השהייה)	• איטית יותר

פתרון ביניים:

ניתן לבצע מימוש אשר בחלקו איטרטיבי ובחלקו סדרתי.
נניח וישנה סדרת כניסה בת 10 ביטים.
ניתן לממש אותה:

1) באמצעות מעגל סדרתי שלאחר 10 מחזורים יניב את התוצאה.
2) מערכת איטרטיבית בת 10 תאים המקבלת את כל סיביות הקלט במקביל ומחזירה את התוצאה הרצויה.
3) מערכת איטרטיבית בת 5 תאים המחוברת ליחידת זיכרון.
המערכת מקבלת 5 ביטים בפעם הראשונה ולאחר מכן את 5 הביטים הנוספים.

פתרון 3 מהווה 'פשרה' בין שני סוגי המימושים.
ישנם מצבים בהם פתרון מסוג שכזה עדיף על פני מערכת אחת.

שאלות:

1) יש לממש מערכת איטרטיבית המורכבת מ-3 תאים, שכל אחד בעל כניסה אחת, מוצא אחד ומספר משתני תא. המערכת מתריעה אם מתקבלת מחרוזת בעלת מספר זוגי של 1-ים (שים לב – בשאלה זו גם אפס 1-ים נחשב למספר זוגי).
כלומר, המוצא של התא האחרון צריך להיות 1 רק אם תתקבלנה המחרוזות: 000, 011, 101, 110.

א. כתוב טבלת תא.

ב. מצא את משוואות התא.

ג. ממש מעגל תא אופייני באמצעות שערי AND, OR ו-NOT בלבד.

ד. כמה שערים צריך על מנת לממש את התא הראשון, בהנחה שמותר לו להיות שונה במבנהו משאר התאים? הצג מימוש מתאים.

ה. כמה שערים צריך על מנת לממש את התא האמצעי, בהנחה והוא יכול להיות שונה במבנהו משאר התאים? הצג מימוש מתאים.

ו. על מנת לזהות מספר זוגי של 1-ים בכניסה בת 12 ביטים, מחליטים לשרשר את המערכת הנתונה לעצמה 4 פעמים.
האם שירשור ישיר יאפשר את הגילוי הנדרש?
האם יש צורך במעגל נוסף? במידה וכן הצג מימוש מתאים ונמק.

ז. עקב מחסור זמני, לא ניתן להשתמש ביותר מ-2 מערכות במקביל.
לשם כך רוצים לממש מעגל ביניים, שחלקו איטרטיבי וחלקו סדרתי.
כמה רכיבי זיכרון יהיה צריך על מנת לממש את מעגל הביניים? הצג מימוש מתאים.

2) למערכת כניסת BUS שמורכבת ממילה באורך 32 ביטים: $A = a_{31}a_{30}a_{29}.......a_1a_0$.

המערכת מכילה מוצא אחד z שיהיה שווה לאחד רק אם הסכום $\sum_{k=0}^{30} a_k \cdot \bar{a}_{k+1}$ הוא מספר המתחלק ב-3 ללא שארית (כולל 0). למשל:

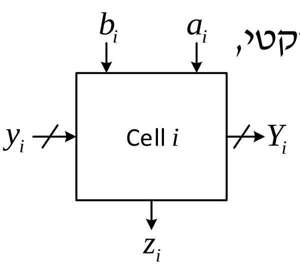
- עבור המילה: 10111011010111010100000101011011 מתקבל: $\sum_{k=0}^{30} a_k \cdot \bar{a}_{k+1} = 10$

ולכן $z = 0$

- עבור המילה: 11111011010101010100000101000001 מתקבל: $\sum_{k=0}^{30} a_k \cdot \bar{a}_{k+1} = 9$

ולכן $z = 1$.

מכיוון שמימוש צירופי המכיל 2^{32} כניסות אפשריות הוא לא פרקטי, נבצע מימוש איטרטיבי (סדרתי) של מערכת עם 31 תאים.
כל תא הינו מערכת צירופית עם כניסות ויציאות משל עצמו ויראה באופן הבא:
הנח כי לא כל התאים הם בעלי אותו המימוש



וכי ניתן להתעלם ממימוש של כניסה/יציאה מסוימת מתא כלשהו במידה ואין לה השפעה על המערכת ועל המוצא הסופי.

א. סרטט דיאגרמת מצבים המתאימה למכונת מצבים עם מינימום מצבים.

ב. כתוב טבלת מעברים וטבלת מוצא מלאות והנח כי המצב ההתחלתי יקבל את הקוד 0...000 (מספר האפסים תלוי במספר משתני המצב).

ג. כתוב משוואות מצב מתאימות.

ד. ממש את התא הראשון באמצעות 3 שערי NAND בלבד.

ה. ממש את התא השני באמצעות 6 שערי NAND בלבד.

ו. ממש את התא האחרון באמצעות 7 שערי NAND בלבד.

תשובות סופיות:

1) א. ראה טבלה בסרטון הוידאו.

ב. להלן המשוואות:

$$Y_{i1} = x_i \bar{y}_{i2} \bar{y}_{i3} \;\; ; \;\; Y_{i2} = y_{i1} + x_i \bar{y}_{i2} + \bar{y}_{i2} y_{i3} \;\; ; \;\; Y_{i3} = \bar{x}_i y_{i1} + x_i \bar{y}_{i2}$$

$$z_i = x_i \bar{y}_{i1} y_{i2} \bar{y}_{i3} + \bar{x}_i y_{i2} y_{i3}$$

ג. ראה מימוש בסרטון הוידאו.

ד. שער אחד בלבד!

ה. אפס שערים!!

ו. יש צורך במעגל המחבר את המוצאים: $f = \overline{z_{13} \oplus z_{23} \oplus z_{33} \oplus z_{43}}$.

ז. 5 רכיבי זיכרון בסה"כ (ראה פירוט והסבר מורחב בסרטון הוידאו).

2) א. ישנם 3 מצבים בלבד. ראה דיאגרמה בסרטון הוידאו.

ב. ראה טבלאות בסרטון הוידאו.

סימון מצבים ומשתני מצב: $S_0 = 00 \, , \, S_1 = 01 \, , \, S_2 = 11$.

ג. להלן המשוואות:

$$Y_1 = y_1 \bar{a}_k + y_1 a_{k+1} + \bar{y}_1 y_0 \bar{a}_{k+1} a_k \;\; ; \;\; Y_0 = y_0 a_{k+1} + y_0 \bar{a}_k + \bar{y}_1 y_0 + \bar{y}_1 \bar{a}_{k+1} a_k$$

$$z = \bar{y}_0 a_{k+1} + y_1 \bar{a}_{k+1} a_k + \bar{y}_0 \bar{a}_k \bar{a}_{k+1} .$$

ד. ראה מימוש בסרטון הוידאו.

ה. ראה מימוש בסרטון הוידאו.

ו. ראה מימוש בסרטון הוידאו.