מעגלים סינכרוניים

מקורות:

Leiseron & Saxe 1981

Leiserson (PhD)

Leiseron & Saxe 1991

Even & Litman 1994

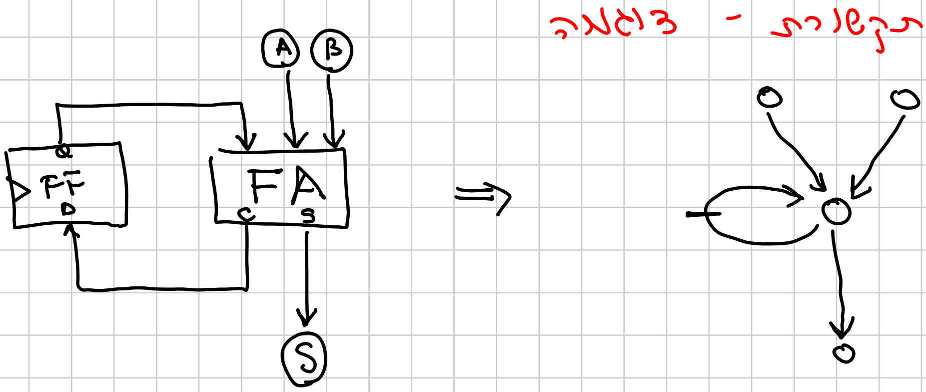
גרף התקשורת

ממדלים מעגל סינכרוני ע"י גרף תקשורת

- גרף מכוון $G = (V, E)$
- V: מתאים שערים הצירופיים במעגל
- E: מתאים חיבורים בין השערים (מותר לחיבורים שלא דרך דלגלגים)
- $w: E \rightarrow \mathbb{N}$ מציין כמה דלגלגים יש לאורך כל קשת.

מעגל סינכרוני $\Leftarrow$ G לא מכיל מעגל מכוון עם משקל 0.

גרף תקשורת - דוגמה



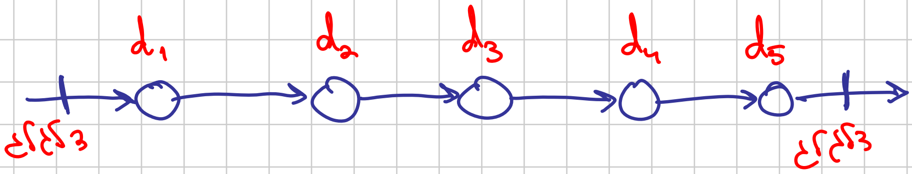
מעגל ⟹ גרף תקשורת

נסמן את המשקל של צומת v: קטעים (משקל 3).

מחזור השעון הקצר ביותר

כדי להבטיח פונקציונליות תקינה, צריך להבטיח שהאות לאורך כל מסלול צירופי מספיק להתייצב במהלך מחזור שעון.

דוגמה:



מחזור השעון $\phi \geq d_1 + d_2 + \dots + d_5$

$$\Longleftarrow \quad \min \phi \geq \max \left\{ d(p) \;\middle|\; p \text{ מסלול צירופי} \right\}$$

איך נחשב את ϕ?

מעגל סיסטולי

מעגל שמקיים: בגרף התקשורת מתקיים $\forall e\in E: w(e)\geq 1$.

הערות:

(1) במידול לא עמדנו על כך שהצמתים מתאימים לשערים "בסיסיים". ולכן יתכן שצומת ימדל רכיב עם השהיה גדולה.

(2) במעגל סיסטולי כל מסלול צירופי מכיל צומת בודד, ולכן $\min \phi = \max_v d(v)$.

מעגל חצי סיסטולי

מרשה גם קשתות במשקל 0 ... בעצם מעגל סינכרוני.

אבל מדגיש שמסתכלים על גרף התקשורת...

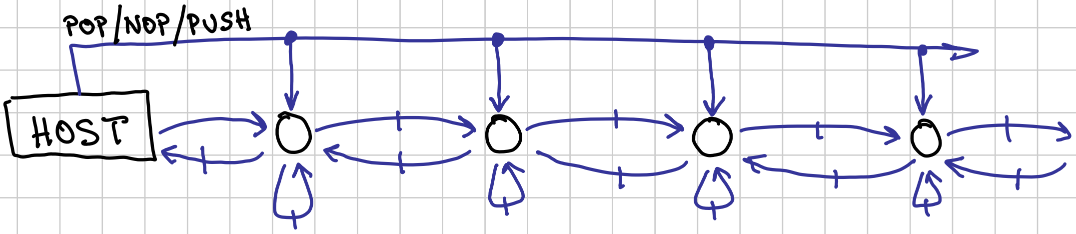
כרגיל, נתעניין במשפחה $\{C_n\}_{n=1}^{\infty}$ של מעגלים, כאשר C_n מתאים לקלטים באורך n.

נרצה שהמשפחה תקיים תכונות כגון:

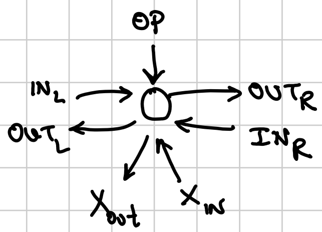
$$\Phi(C_n) = \text{constant}$$

[משך מחזור השעון בלתי תלוי ב-n].

דוגמה: מימוש תאי סיסטולי של מחסנית



מבנה של צומת בודד (צירופי!)



תמיד: $X_{out} = out_L = out_R$

$$X_{out} = \begin{cases} X_{in} & \text{if } OP = NOP \\ IN_L & \text{if } OP = PUSH \\ IN_R & \text{if } OP = POP \end{cases}$$

יתרונות

קל להבנה!

אבל $\Phi = \Omega(n)$! למה?

שאלה: נסו לחסוך באיברים.... להמנע מלהחזיק 3 עותקים של אותו הערך.

תזמון-מחדש Retiming

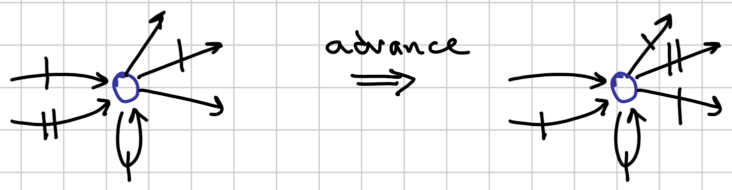
נתאר 3 הגדרות שקולות של טרנספורמציה ש"מזיזה" אוגרים במעגל חד-פזי תוך "שמירה" על פונקציונליות.

הגדרה 1: Retiming

סדרה סופית של צעדי תזמון-מחדש המופעלים על צומת בודד

ADVANCE

(הפחת אוגר מכל קשת נכנסת והוסף לכל קשת יוצאת)



LAG

(הוסף אוגר לכל קשת נכנסת והפחת אוגר מכל קשת יוצאת)

השפעה: אותו החישוב מתבצע שלב אחד מאוחר/מוקדם יותר.

הגדרה 2: Retiming

סדרה סופית של צעדי תזמון-מחדש המופעלים על התכנים

דרישה: כל קשת $u \to v \in Lag \times Advance$ היא במשקל > 0.

מפחית 1 ממשקל הקשתות מ Lag ל Advance

מוסיף 1 למשקל הקשתות מ Advance ל Lag.

הגדרה 3: Retiming

הפעלת פונקצית תזמון-מחדש על הקשתות.

תהי $r : V \to \mathbb{Z}$ פונקציה המקיימת

$$\forall (u,v) \in E : \quad w(u,v) - r(u) + r(v) \geq 0$$

נגדיר

$$W_r(u,v) = w(u,v) - r(u) + r(v)$$

הערות: 1. אם $r_1 - r_2 \equiv c$ אז $W_{r_1} \equiv W_{r_2}$.

ולכן בה"כ $r(HOST) = 0$.

2. $r(v)$ מציין בכמה מחזורי שעון מעכבים את r.

משפט: 3 ההגדרות של תזמון מחדש שקולות.
בפרט, לכל פונקציית תזמון מחדש r, ניתן להגיע מ-w ל-w_r ע"י סדרה סופית של צעדי תזמון מחדש המופעלים על צומת בודד.

תזמון-מחדש: היסטוריה

1) הוגדר ב 1981 ע"י צ'רלס לייזרסון + ג'יימס סאקס
(היתה הגדרה פחות מסודרת ע"י דני כהן 1978)

2) הוצגה כשיטה להיפטר מ Broadcast ולהפוך מעגל חצי סיסטולי (כמו המכפל←) למעגל סיסטולי.
[LS81] ואח"כ [EL91].

3) אלג' שפועל למציאת תזמון מחדש שממזער את מחזור השעון [LS91]

4) אלג' למזעור מספר האוגרים [LS91, CHEP71].

דיון: שימור פונקציונליות ע"י תזמון-מחדש

דוגמה נגדית

במחזור הראשון, האוגרים מאותחלים ל-0 ול-1

איך נאתחל את האוגר אחרי תזמון מחדש?

נניח שהשער פולט תמיד ערך זהה ב-2 הקשתות...

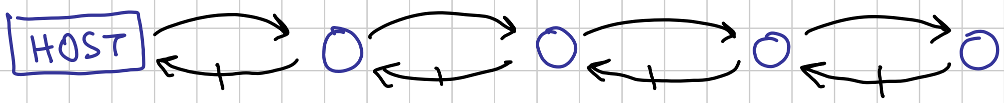
⇐ צריך לטפל במיפוי של מצבים התחלתיים.

תכונות של תזמון-מחדש

1. שימור פונקציונליות. אם $r(HOST)=0$ אז לפני/אחרי תזמון-מחדש, לכל סדרת קלטים מתקבלת אותה סדרת הפלטים. (בתנאי: יש מצב התחלתי מתאים).

2. לכל מסלול מעגל p: $w(p) = w_r(p)$.

שימוש בתזמון-מחזק כדי לבצע Broadcast



איך ניתן להמיר את המעגל למעגל סגור?

לא ניתן: כי בכל מסלול מעגל p : $w(p) = \frac{length(p)}{2}$.

אפשרויות:

① $w'(e) = 2\cdot w(e)$. לשיטה זו קוראים 2-slowdown.

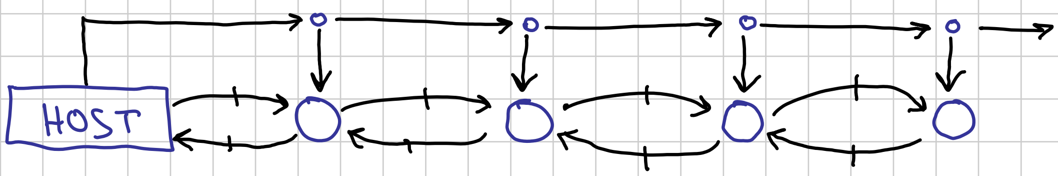
היא אינה משמרת פונקציונליות. למה?

② שינוי טופולוגי + קיבול תאים

1. הראו איך להשיג $\phi = 1$ עם $w'(e) = 2\cdot w(e)$.
2. באיזה מובן הכפלת את האוגרים משמרת פונקציונליות?

בניית Broadcast

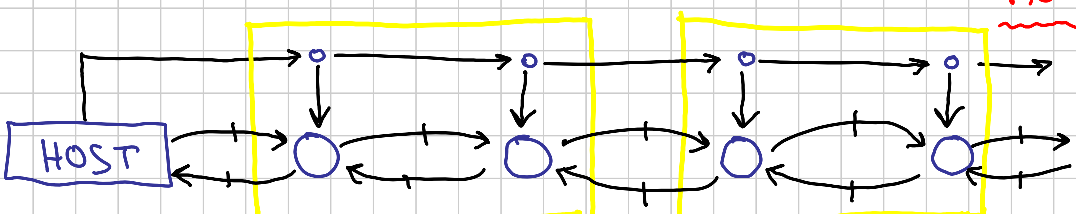
נבחין כי האות המועבר ב broadcast ניתן לניתוב גם בצורה "אחרת".



יתרון: למרות שיש מסלול מעגל עם $w(p) \approx \frac{1}{2} length(p)$,

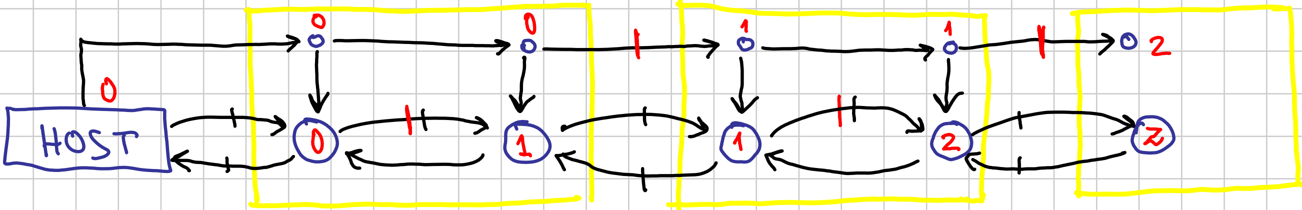
אין מעגל באורך 2 עם משקל 1 ...

כעת נגדיר ריצוף



נדרוש משקל חיובי לקשתות המחברות מרצפות שונות.

נרשום את $r(v)$ עבור כל צומת, ונחשב $w_r(e)$ לכל קשת:



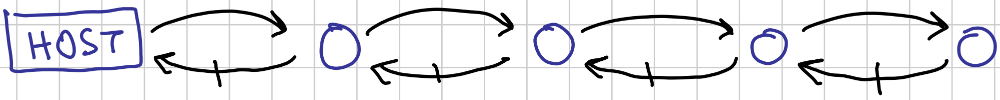
קיבלנו מעגל סיסטולי ביחס למרצפות.

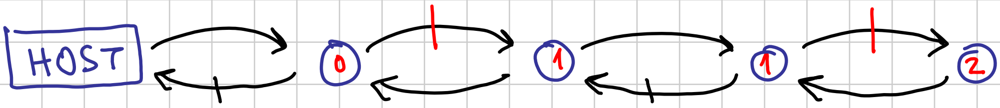
כל מרצפה מכילה 2 תאים.

⇐ ניתן להמיר מערך ליניארי עם broadcast במערך סיסטולי.

כאשר: $\min \phi = 2 \cdot d(v)$

הצעה חלופית





אחרי תזמון-מחדש יש לכל היותר 2 צמתים בכל מעגל

⇐ $\min \phi = 2 \cdot delay(v)$.

מחזור שעון $= 2$, אבל התכנון אינו סיסטולי (ואין ריצוף משמש סיסטוליות).

בעיות אלגוריתמיות הקשורות לתזמון-מחזור

1) בהינתן מעגל סינכרוני, מצא תזמון-מחזור שממזער את משך מחזור השעון המינימלי.

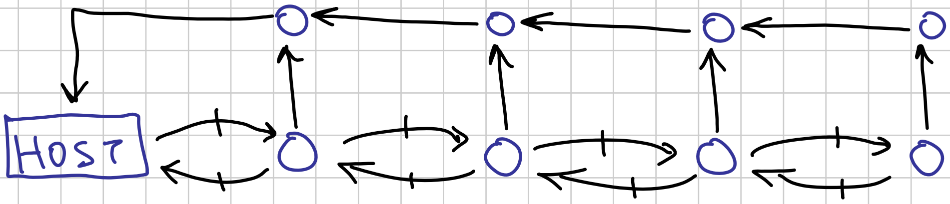
2) בהינתן רשת של מעגל חד-כיווני, מצא תזמון-מחזור (אם קיים כזה) המשיג משקל חיובי לקשתות בין מרגפות.

בעיות נפתרו במאמרים:

Leiserson & Saxe 1991

Even & Litman 1994

Instant Accumulation



בכל במסלול במשקל אפס שנכנס ל-HOST מתבצעת פעולה פשוטה כגון: AND, OR או XOR.

מסופק באותה השיטה:

1) הפוך כיווני קשתות inst. acc. $\Leftarrow$ broadcast.

2) בכל broadcast.

3) הפוך כיווני קשתות חזרה.

אז בפועל: הצב $r'(v) = -r(v)$ בכל צומת.