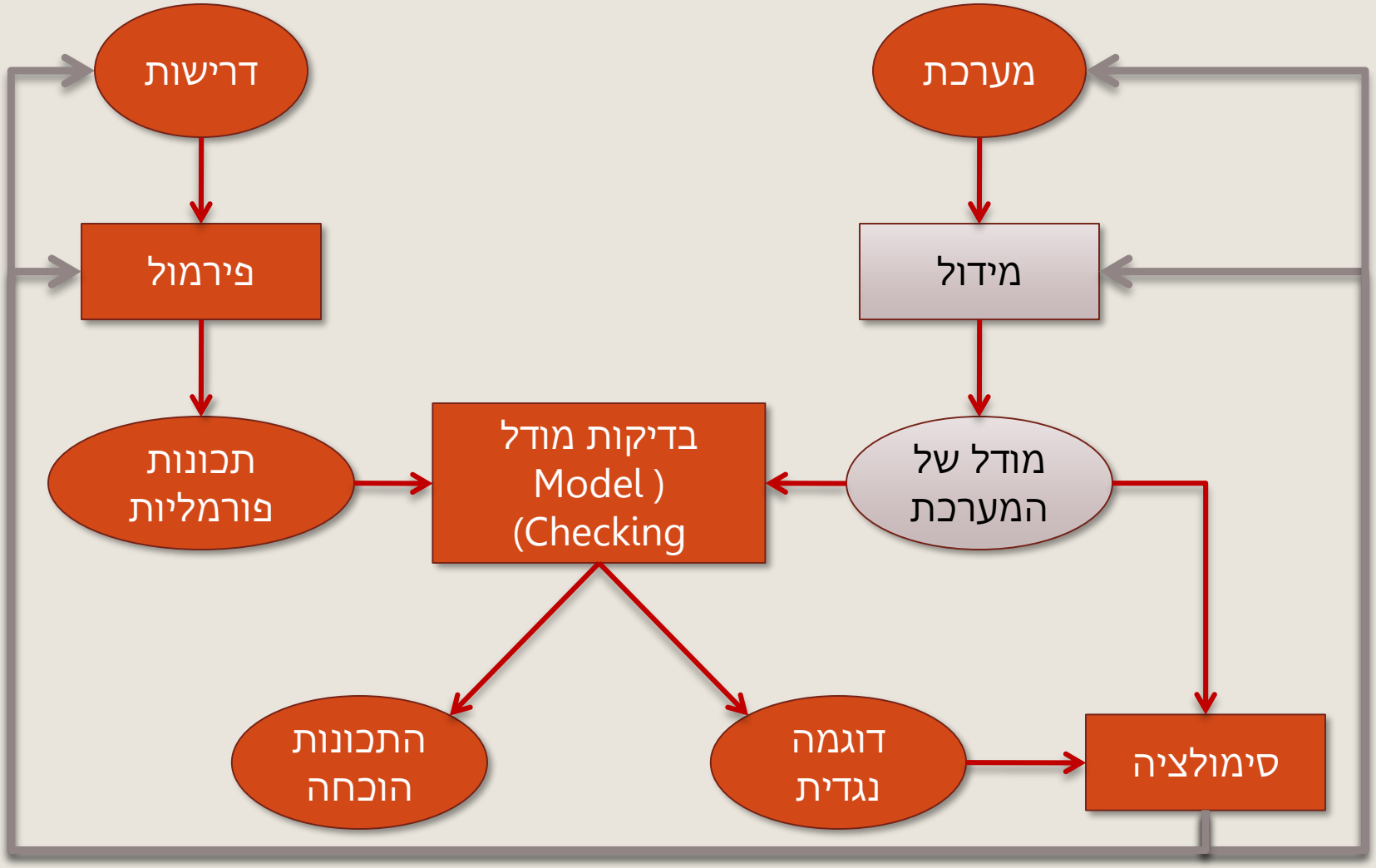
שזירת גרפי תוכנית

גרא וייס
המחלקה למדעי המחשב
אוניברסיטת בן-גוריון

תזכורת: תוכנית הקורס



תזכורת: מערכת מעברים
Transition System

מערכת מעברים נתונה על-ידי

$$TS = \langle S, Act, \rightarrow, I, AP, L \rangle$$

באשר:

- S היא קבוצת המצבים
- $I \subseteq S$ היא קבוצת המצבים ההתחלתיים
- Act היא קבוצת הפעולות
- $\rightarrow \subseteq S \times Act \times S$ הוא יחס המעברים
- AP היא קבוצת הפסוקים האטומיים
- $L: S \rightarrow 2^{AP}$ היא פונקציית תיוג

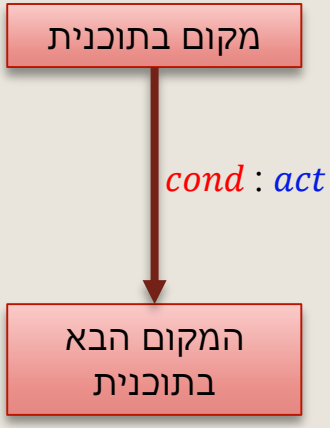
תזכורת: גרף תוכנית

גרף תוכנית (program graph) מעל קבוצת משתנים Var הוא שביעיה סדורה

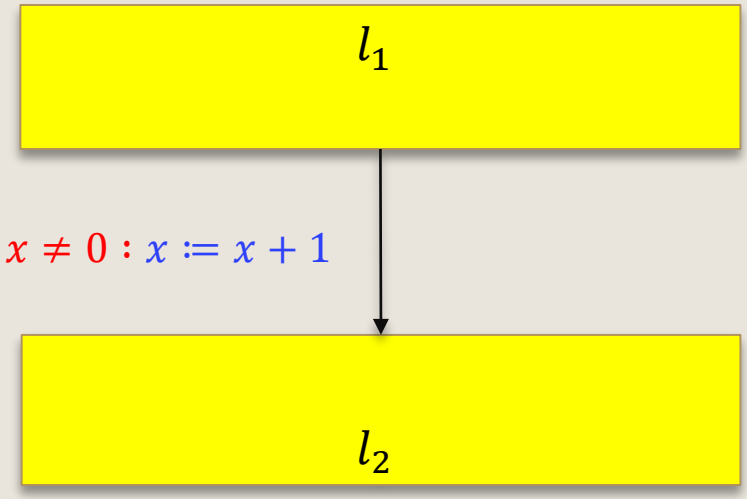
$$\langle Loc, Act, \vDash, \text{Effect}, \rightarrow, Loc_0, g_0 \rangle$$

באשר:

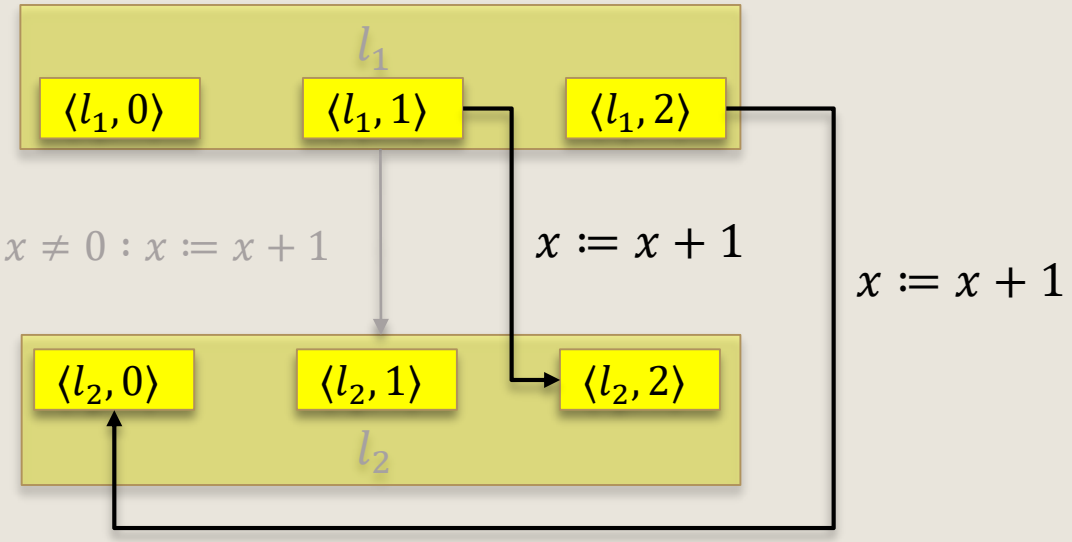
- Loc היא קבוצת המקומות (locations)
- $Loc_0 \subseteq Loc$ היא קבוצת מקומות ההתחלה
- Act היא קבוצת הפעולות
- $\vDash: Cond(Var) \times Eval(Var) \rightarrow \{True, False\}$ היא פונקציית הערכת התנאים
- $Effect: Act \times Eval(Var) \rightarrow Eval(Var)$ היא פונקציית ההשפעה
- $\rightarrow \subseteq Loc \times Cond(Var) \times Act \times Loc$ הוא יחס המעברים
- $g_0: Loc_0 \rightarrow Cond(Var)$ הוא תנאי ההתחלה



תזכורת: פריסה של גרף תוכנית PG למערכת מעברים $TS(PG)$



תזכורת: פריסה של גרף תוכנית PG למערכת מעברים $TS(PG)$



תזכורת: שזירת מערכות מעברים

המצבים S הם המכפלה הקרטזית של מצבי תת מערכות:

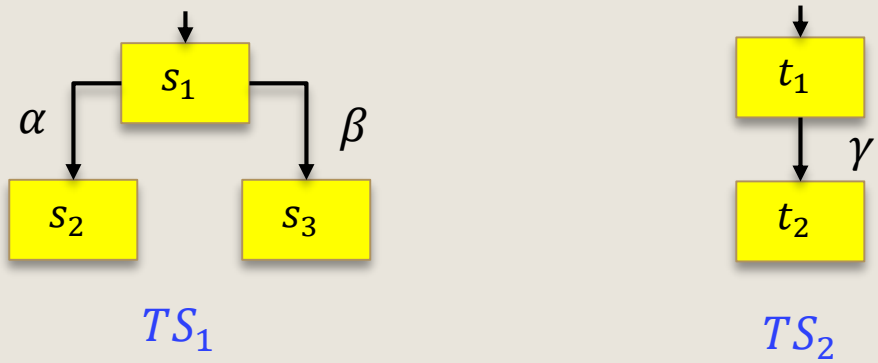
	s_{21}	s_{22}	s_{23}
s_{11}	$\langle s_{11}, s_{21}\rangle$	$\langle s_{11}, s_{22}\rangle$	$\langle s_{11}, s_{23}\rangle$
s_{12}	$\langle s_{12}, s_{21}\rangle$	$\langle s_{12}, s_{22}\rangle$	$\langle s_{12}, s_{23}\rangle$
s_{13}	$\langle s_{13}, s_{21}\rangle$	$\langle s_{13}, s_{22}\rangle$	$\langle s_{13}, s_{23}\rangle$

המעברים $\rightarrow$ נקבעים לפי כללי הגזירה:

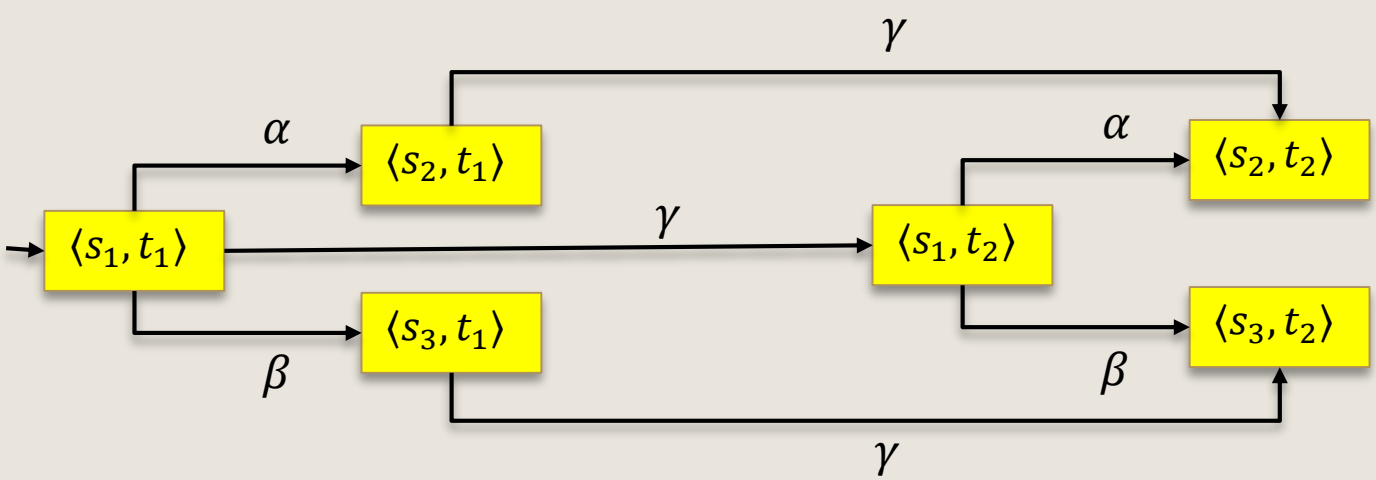
$$\frac{s_1 \xrightarrow{\alpha}_1 s_1'}{\langle s_1, s_2\rangle \xrightarrow{\alpha} \langle s_1', s_2\rangle}$$

$$\frac{s_2 \xrightarrow{\alpha}_2 s_2'}{\langle s_1, s_2\rangle \xrightarrow{\alpha} \langle s_1, s_2'\rangle}$$

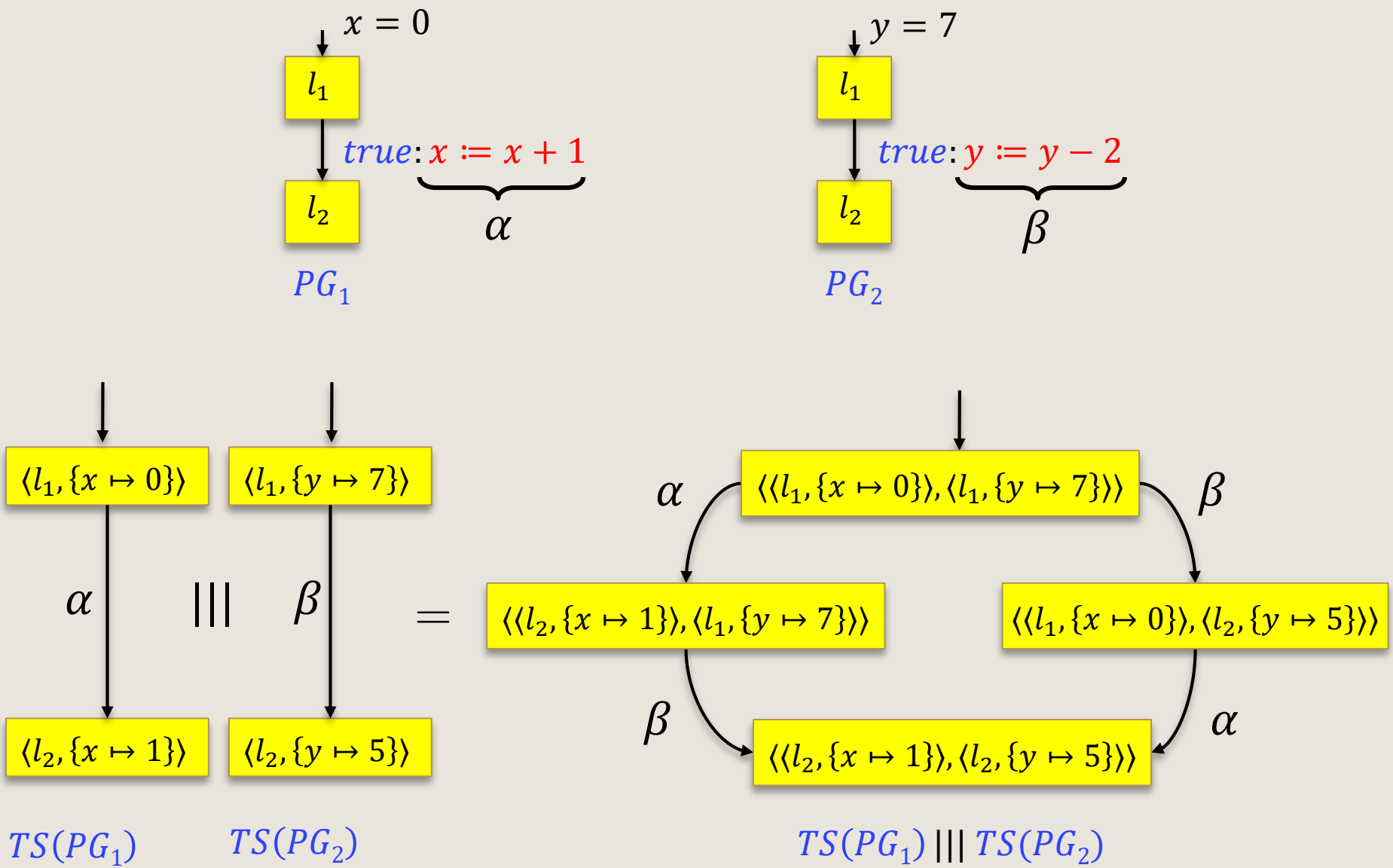
תזכורת: שזירת מערכות מעברים



$TS_1 \,|||\, TS_2$

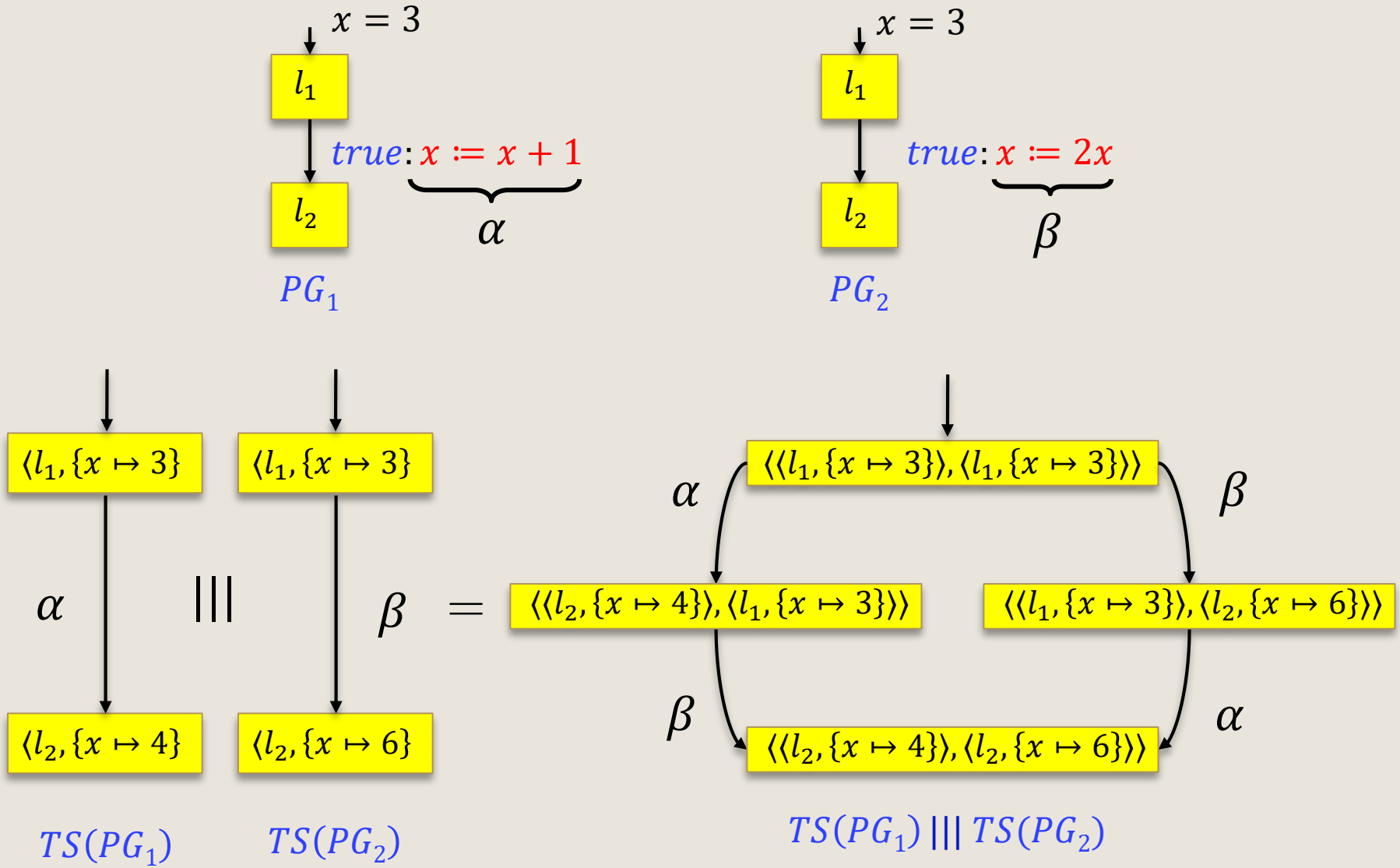


תזכורת: שזירת הפריסות



תזכורת: שזירת הפריסות

לא מתאימה כשיש משתנים משותפים



שזירת גרפי תוכנית

לשני גרפי תוכנית, עבור $i = 1,2$,

$PG_i = \langle Loc_i, Act_i, \mathrm{Effect}_i, \rightarrow_i, Loc_{0,i}, g_{0,i} \rangle$ מעל המשתנים Var_i

נגדיר את גרף התוכנית $PG_1 \parallel PG_2$ מעל $Var_1 \cup Var_2$:

$$\langle Loc_1 \times Loc_2, Act_1 \uplus Act_2, \mathrm{Effect}, \rightarrow, Loc_{0,1} \times Loc_{0,2}, g_{0,1} \wedge g_{0,2} \rangle$$

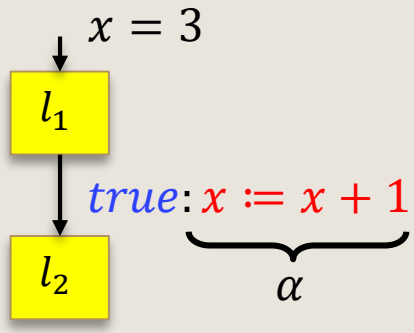
בשלב זה, אנחנו מניחים שהפעולות זרות

באשר $\rightarrow$ מוגדר באמצעות כללי ההסק:

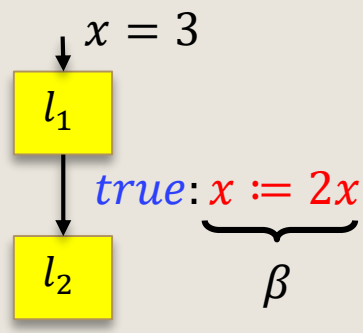
$$\frac{l_1 \xrightarrow{g:\alpha}_1 l_1'}{\langle l_1, l_2 \rangle \xrightarrow{g:\alpha} \langle l_1', l_2 \rangle} \qquad \frac{l_2 \xrightarrow{g:\alpha}_2 l_2'}{\langle l_1, l_2 \rangle \xrightarrow{g:\alpha} \langle l_1, l_2' \rangle}$$

ו $\mathrm{Effect}(\alpha,\eta) = \mathrm{Effect}_i(\alpha,\eta)$ אם $\alpha \in Act_i$

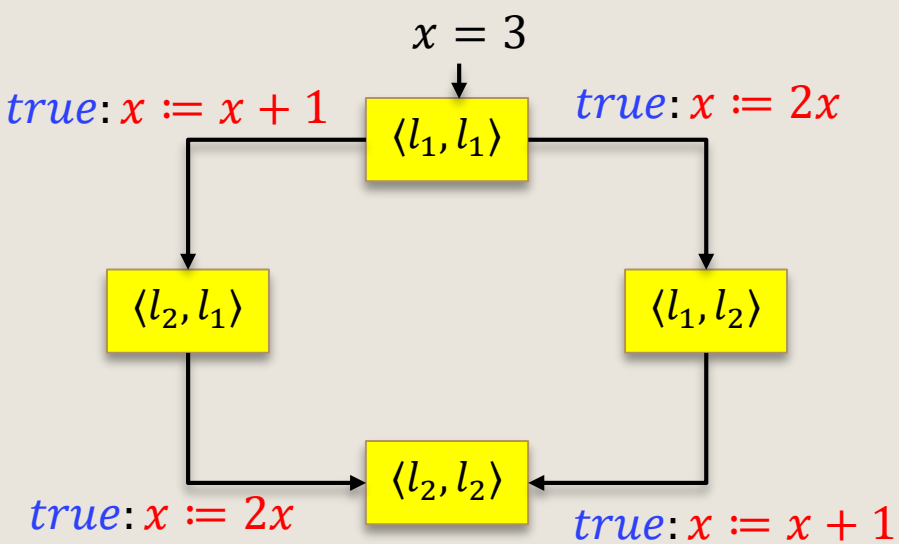
דוגמה: פריסת השזירות עובדת גם כשיש משתנים משותפים



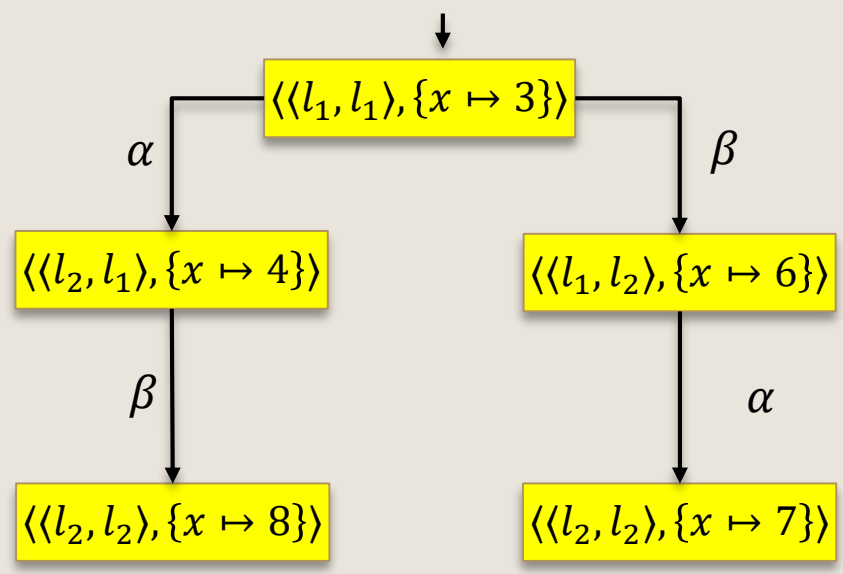
PG_1



PG_2



$PG_1 \mid\mid\mid PG_2$



$TS(PG_1 \parallel PG_2)$

דוגמה: הפרוטוקול של פטרסון

תהליך ימני

```
      while (true)  {
nc:       …
          ⟨b2, x⟩ := ⟨true, 1⟩
wt:       wait until (x = 2 ∨ ¬b1);
cs:       …
          b2 := false;
      }
```

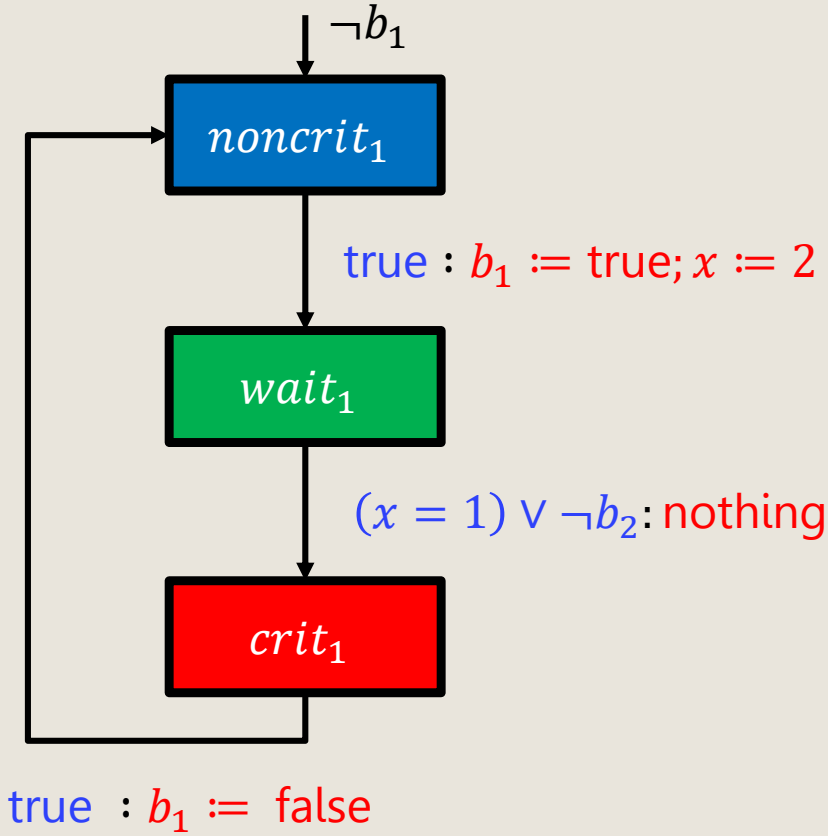
תהליך שמאלי

```
      while (true)  {
nc:       …
          ⟨b1, x⟩ := ⟨true, 2⟩
wt:       wait until (x = 1 ∨ ¬b2);
cs:       …
          b1 := false;
      }
```

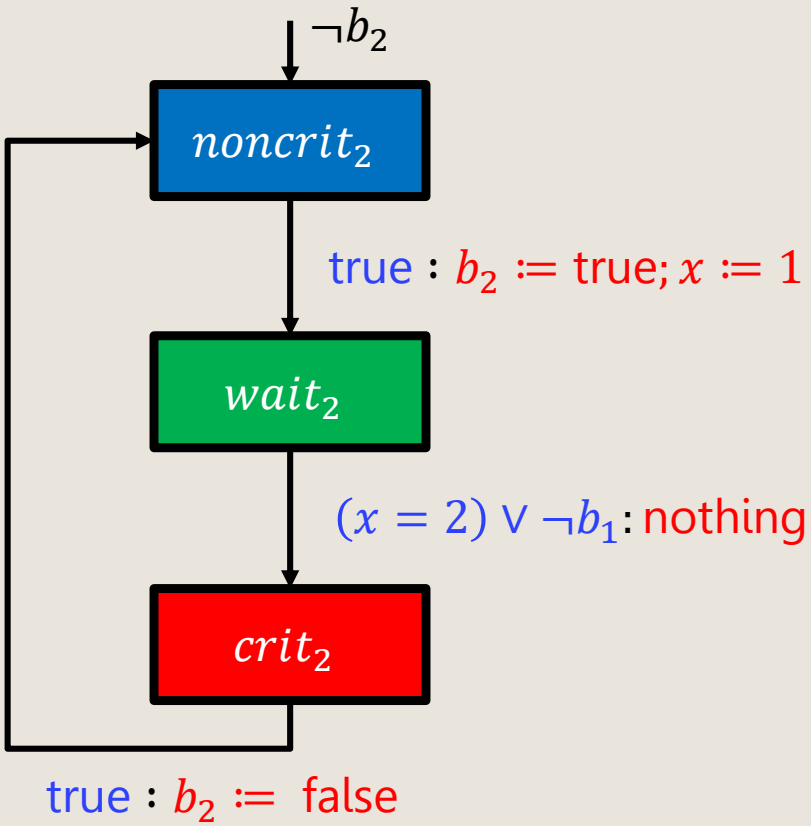
האם אנחנו יכולים להבטיח ששני התהליכים לא ייכנסו יחד לקטע הקריטי?

גרפי תוכנית עבור הפרוטוקול של פטרסון

דוגמה לתוכניות שהתקשורת ביניהן היא באמצעות משתנים משותפים

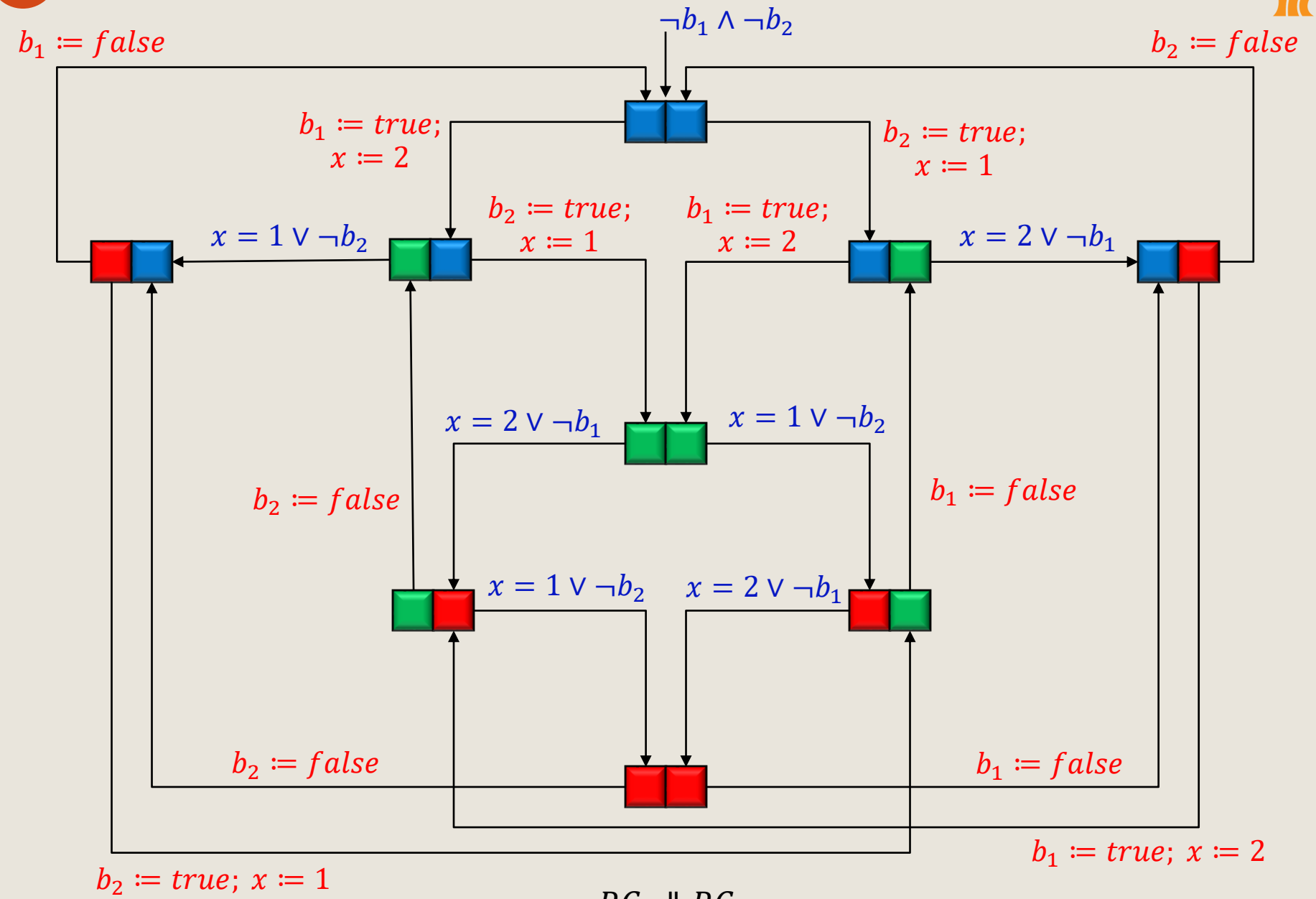


PG_1



PG_2

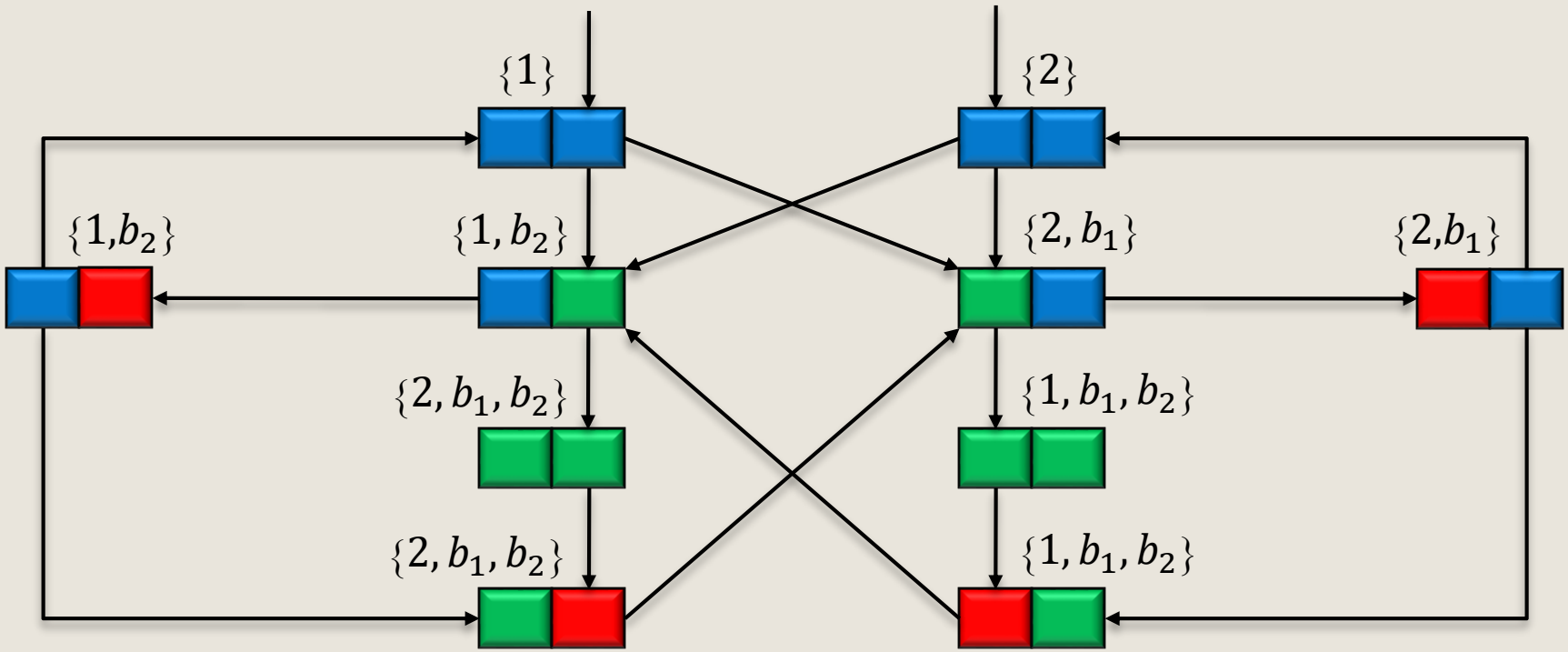
שזירת גרפי התוכנית



$PG_1 \parallel PG_2$

פריסת השזירה של גרפי התוכנית

$$TS_{Pet} = TS(PG_1 \parallel PG_2)$$



רואים בעיין שהשניים לא יכולים להיכנס ביחד לקטע הקריטי

דוגמה: הפרוטוקול של פטרסון
בלי השמות אטומיות

תהליך ימני:

```
      while (true)  {
nc:       …
          x := 1
rq:       b2 := true
wt:       wait until (x = 2 ∨ ¬b1);
cs:       …
          b2:= false;
      }
```

תהליך שמאלי:

```
      while (true)  {
nc:       …
          x := 2
rq:       b1 := true
wt:       wait until (x = 1 ∨ ¬b2);
cs:       …
          b1 := false;
      }
```

האם אנחנו יכולים להבטיח, גם בגרסא זאת, ששני התהליכים לא ייכנסו יחד לקטע הקריטי?

הגרסה בלי האטומיות לא עובדת (עובדת עם השמות בסדר הפוך)

$$\langle \mathrm{nc}_1,\ \mathrm{nc}_2,\ x{=}1,\ b_1{=}\mathrm{false},\ b_2{=}\mathrm{false}\rangle$$
$$\langle \mathrm{nc}_1,\ \mathrm{rq}_2,\ \boldsymbol{x{=}1},\ b_1{=}\mathrm{false},\ b_2{=}\mathrm{false}\rangle$$
$$\langle \mathrm{rq}_1,\ \mathrm{rq}_2,\ \boldsymbol{x{=}2},\ b_1{=}\mathrm{false},\ b_2{=}\mathrm{false}\rangle$$
$$\langle \mathrm{wt}_1,\ \mathrm{rq}_2,\ x{=}2,\ \boldsymbol{b_1{=}\mathrm{true}},\ b_2{=}\mathrm{false}\rangle$$
$$\langle \mathrm{cs}_1,\ \mathrm{rq}_2,\ x{=}2,\ b_1{=}\mathrm{true},\ b_2{=}\mathrm{false}\rangle$$
$$\langle \mathrm{cs}_1,\ \mathrm{wt}_2,\ x{=}2,\ b_1{=}\mathrm{true},\ \boldsymbol{b_2{=}\mathrm{true}}\rangle$$
$$\langle \mathrm{cs}_1,\ \mathrm{cs}_2,\text{‘}\ x{=}2,\ b_1{=}\mathrm{true},\ b_2{=}\mathrm{true}\rangle$$

הפרת תכונת המניעה ההדדית!

מקביליות ותקשורת בין משימות

- שלב א': תוכנות מקביליות הרצות לגמרי במקביל
- שלב ב': צריך מנגנון תקשורת ← משתנים משותפים

עד כאן הגענו

- שלב ג': אם התהליכים מבוזרים אין זיכרון משותף ←מנגנון שליחת הודעות

העברת הודעות מסונכרנת
(handshaking)

העברת הודעות אסינכרונית דרך תורים
(channel communication)

לחיצת יד (handshaking)

תקשורת באמצעות העברת הודעות סִינְכְרוֹנִית:

תהליכים מבצעים פעולות סינכרוניות ביחד

אינטראקציה באמצעות סנכרון

התהליכים המשתתפים "לוחצים יד"

דרך מופשטת לתאר העברת מידע

נגדיר קבוצה H של פעולות לחיצת יד כך שהתהליכים יבצעו את הפעולות ב-H ביחד והפעולות מחוץ ל-H יִשָּׁאֲרוּ כמו קודם.

הגדרה: לחיצת יד (handshaking)

עבור שתי מערכות מעברים

$$TS_i = \langle S_i, Act_i, \rightarrow_i, I_i, AP_i L_i \rangle, i = 1,2$$

ו- $H \subseteq Act_1 \cap Act_2$ נגדיר מערכת מצבים שזורה:

$$TS_1 \|\|_H TS_2 = \langle S_1 \times S_2, Act_1 \cup Act_2, \rightarrow, I_1 \times I_2, AP_1 \cup AP_2, L \rangle$$

באשר $L(\langle s_1,s_2 \rangle) = L_1(s_1) \cup L_2(s_2)$.

עבור $\alpha \in H$ נשתמש בכלל הגזירה:

$$\frac{s_1 \xrightarrow{\alpha}_1 s_1' \quad s_2 \xrightarrow{\alpha}_2 s_2' \quad \alpha \in H}{\langle s_1,s_2 \rangle \xrightarrow{\alpha} \langle s_1',s_2' \rangle}$$

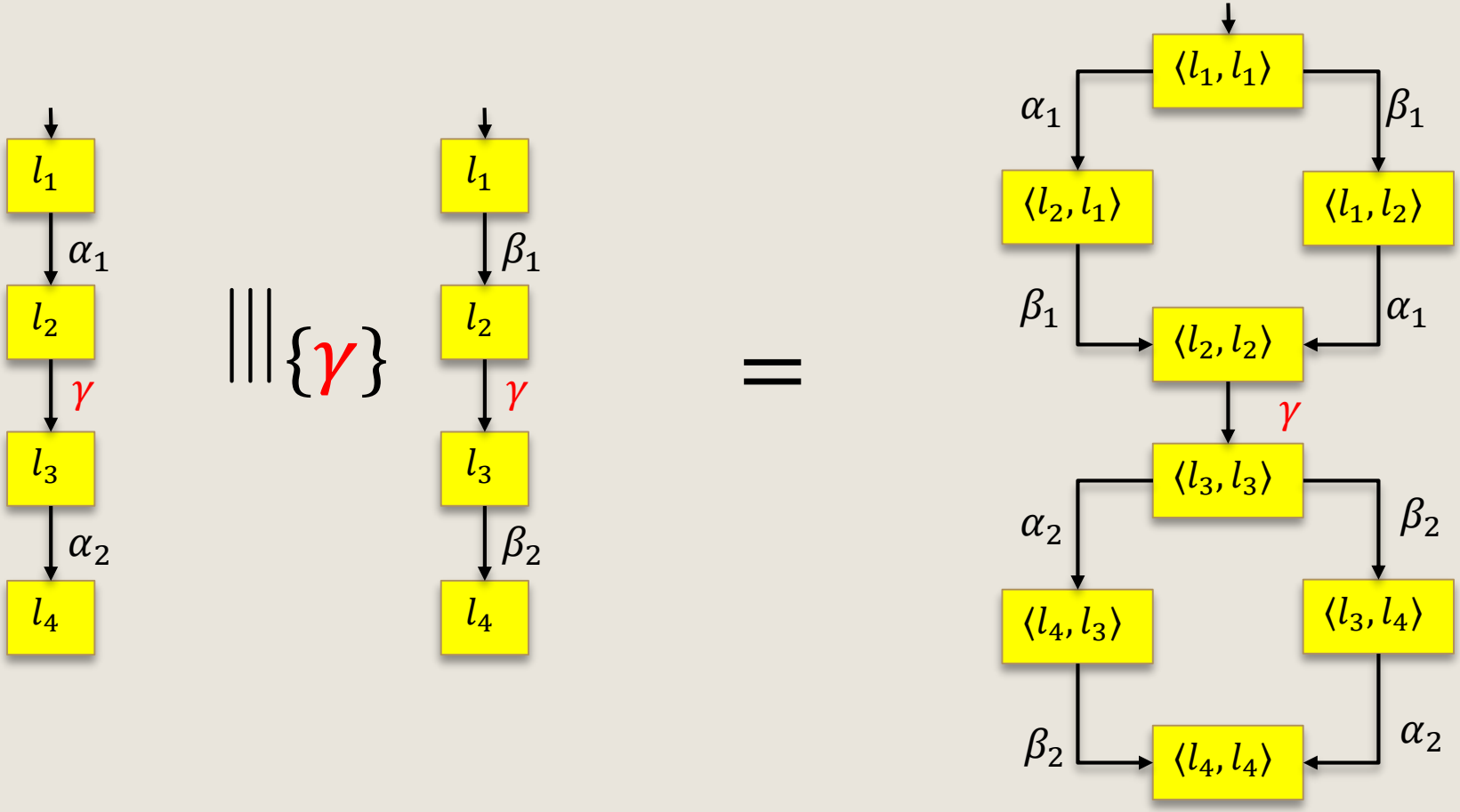
אחרת, נשתמש ב:

$$\frac{s_1 \xrightarrow{\alpha}_1 s_1' \quad \alpha \notin H}{\langle s_1,s_2 \rangle \xrightarrow{\alpha} \langle s_1',s_2 \rangle}$$

וב:

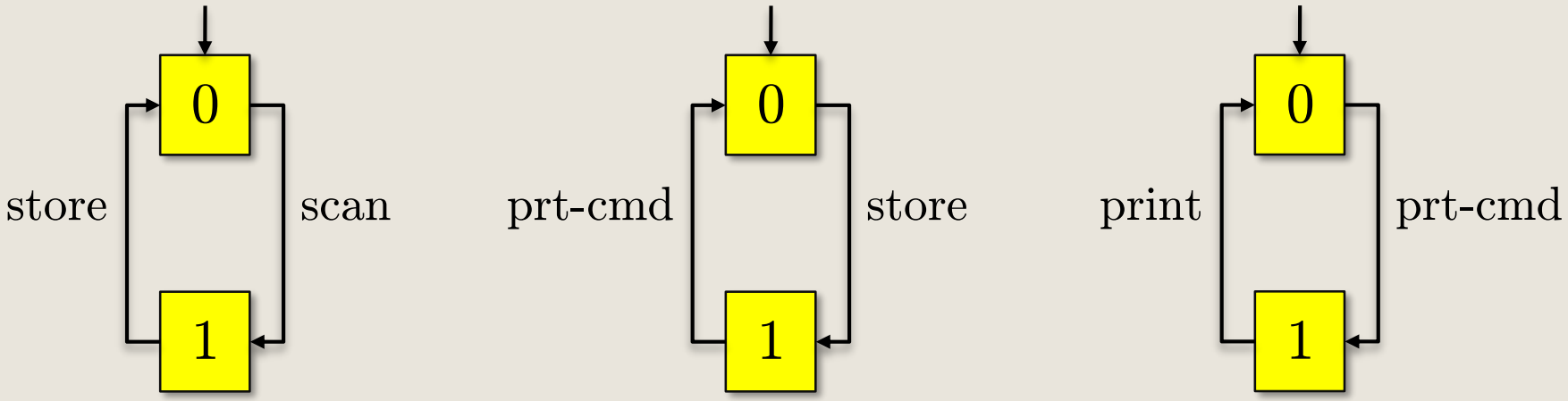
$$\frac{s_2 \xrightarrow{\alpha}_2 s_2' \quad \alpha \notin H}{\langle s_1,s_2 \rangle \xrightarrow{\alpha} \langle s_1,s_2' \rangle}$$

דוגמה: לחיצת יד בין תהליכים



הסימון $|||_H$ אומר שמערכות המעברים
מבצעות את הפעולות ב-H ביחד

דוגמא: קופה רושמת

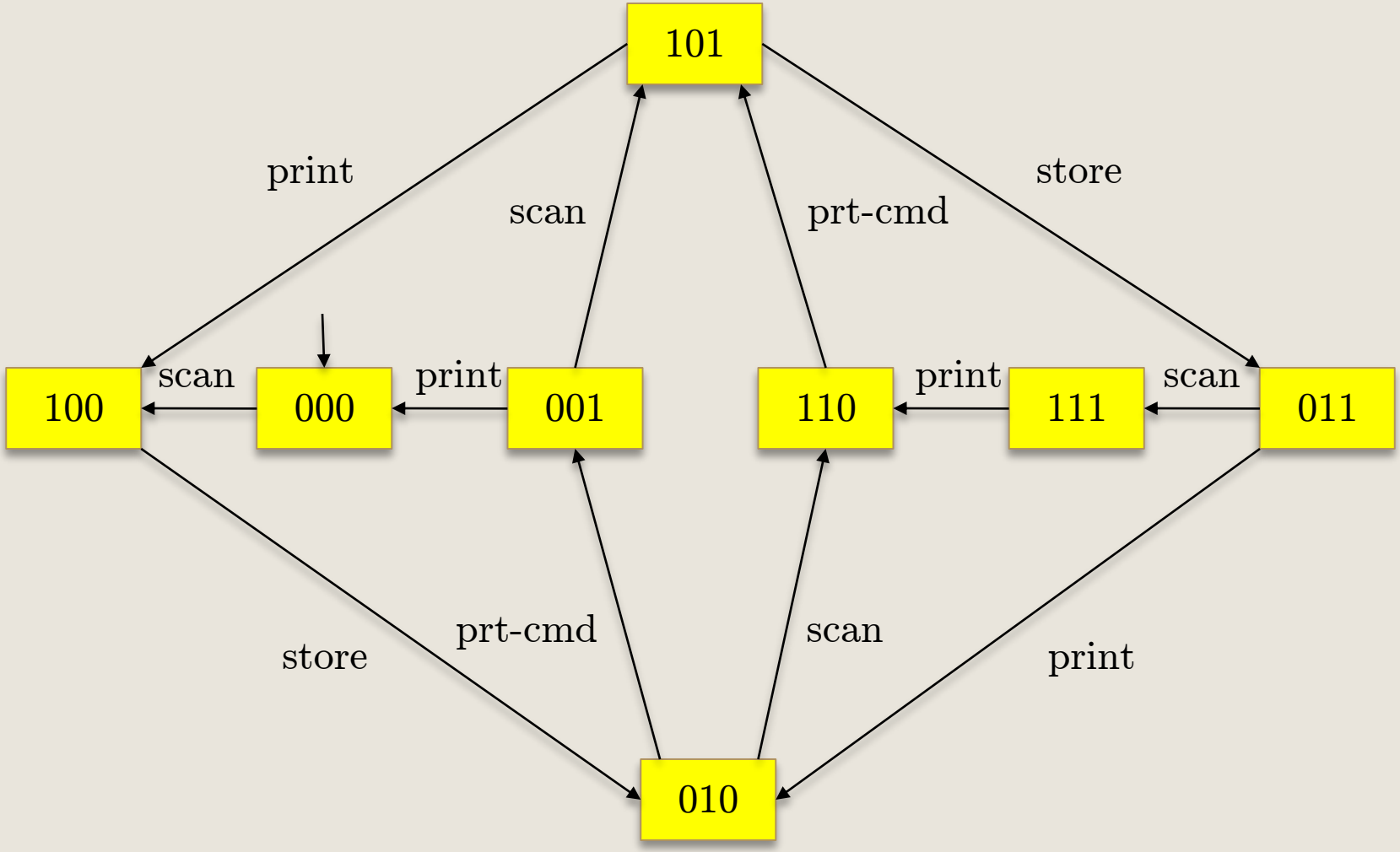


$$\text{BCR} \;|||_{\{\text{store}\}}\; \text{BP} \;|||_{\{\text{prt-cmd}\}}\; \text{Printer}$$

לפעמים נרשום $|||$ כקיצור כתיב ל $|||_H$ עבור $H = Act_1 \cap Act_2$

הרכבה מקבילית

$$\text{BCR} \;|||_{\{store,\}}\; \text{BP} \;|||_{\{prt-cmd\}}\; \text{Printer}$$



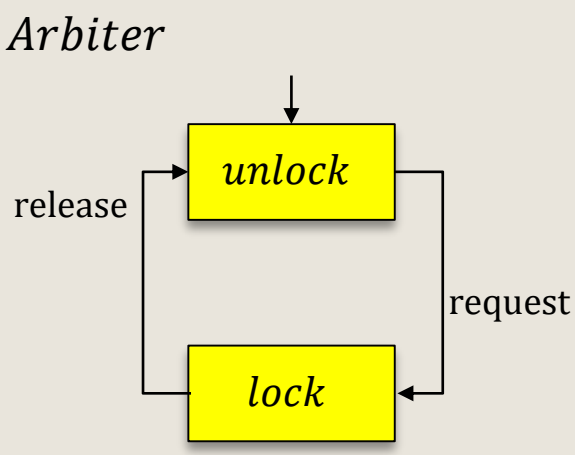
מקרה פרטי

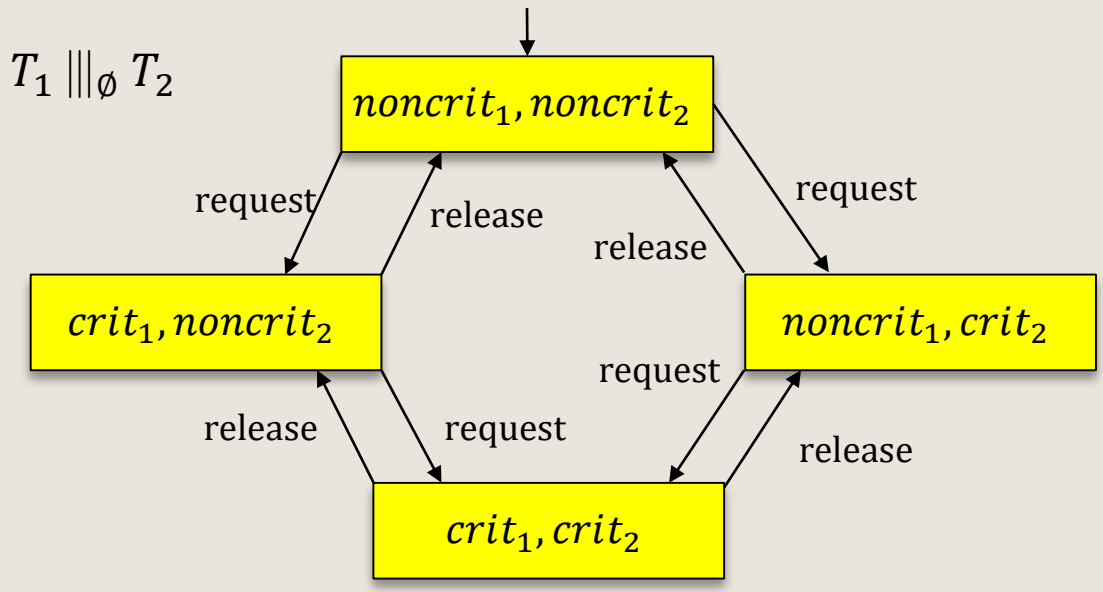
הסימון שהשתמשנו בו בתחילת הדרך לסמן שזירה מקבילית בלי פעולות משותפות מתאים לסימון החדש:

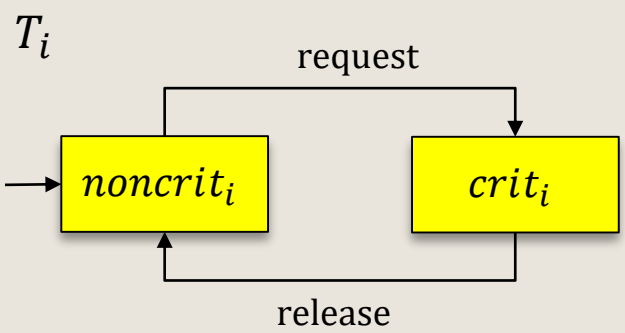
$$TS_1 \;|||\; TS_2 = TS_1 \;|||_{\emptyset}\; TS_2$$

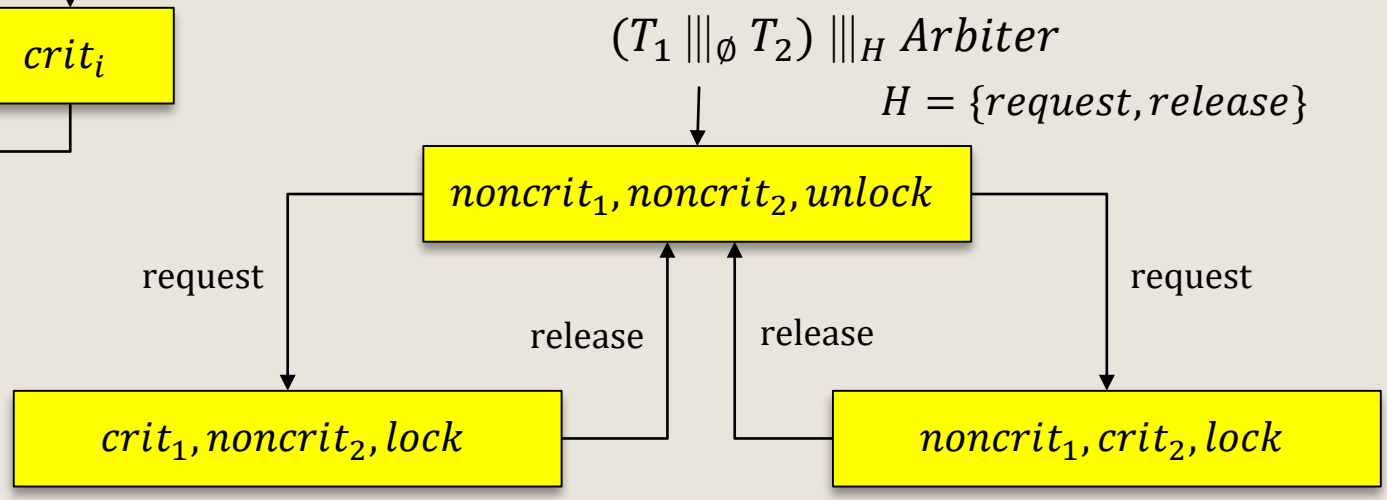
אם לא כתוב כלום צריך להיות ברור מההקשר אם מתכוונים ל-$H = \emptyset$ או ל-$H = Act_1 \cap Act_2$

דוגמה: חסימה הדדית באמצעות בורר









אסוציאטיביות?

באופן כללי, יכול להיות, אם $H \neq H'$:

$$TS_1 |||_H (TS_2 |||_{H'} TS_3) \neq (TS_1 |||_H TS_2) |||_{H'} TS_3$$

לעומת זאת:

עבור קבוצה H קבועה של פעולות מסונכרנות, האופרטור $|||_H$ אסוציאטיבי

בפרט, עבור $H \subseteq Act_1 \cap \cdots \cap Act_n$

$$TS_1 |||_H TS_2 |||_H \cdots |||_H TS_n$$

מסמן שידור סימולטני (broadcast).

האופרטורים שהגדרנו הם רק דוגמה. ניתן להשתמש בשיטות ההגדרה שלנו לניסוח מנגנוני הרכבה שונים, לפי סוגי המערכות שאנחנו רוצים לנתח.

דוגמה: מפגש כביש עם רכבת

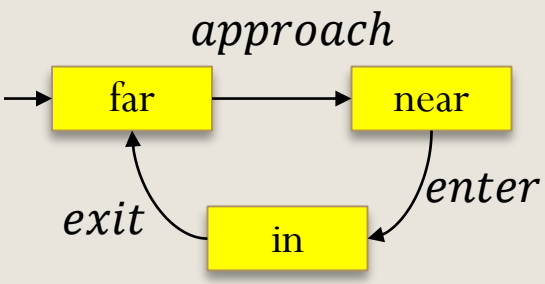
עבור מפגש כביש עם רכבת, צריך לפתח בקר אשר
סוגר את השער כאשר מתקבל אות שמסמן הגעת רכבת
ופותח אותו רק לאחר שמתקבל אות שהרכבת חצתה את הכביש

הדרישה מהבקר היא שהשער יהיה סגור
כאשר הרכבת חוצה

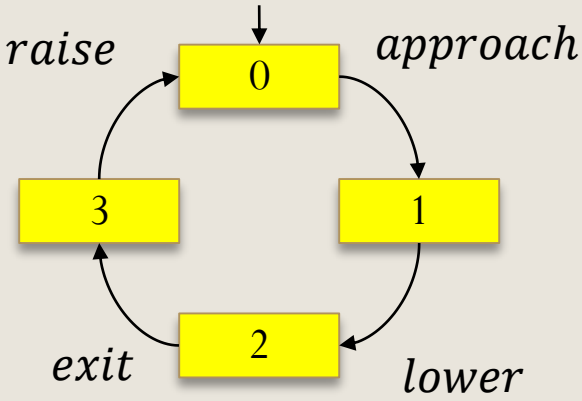
המערכת מורכבת משלושה רכיבים:

$$Train \;|||\; Gate \;|||\; Controller$$

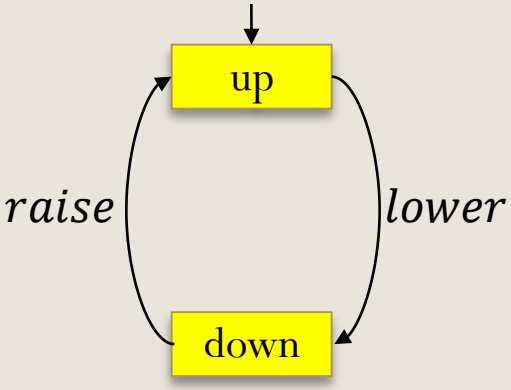
מערכות המעברים לרכיבים



Train

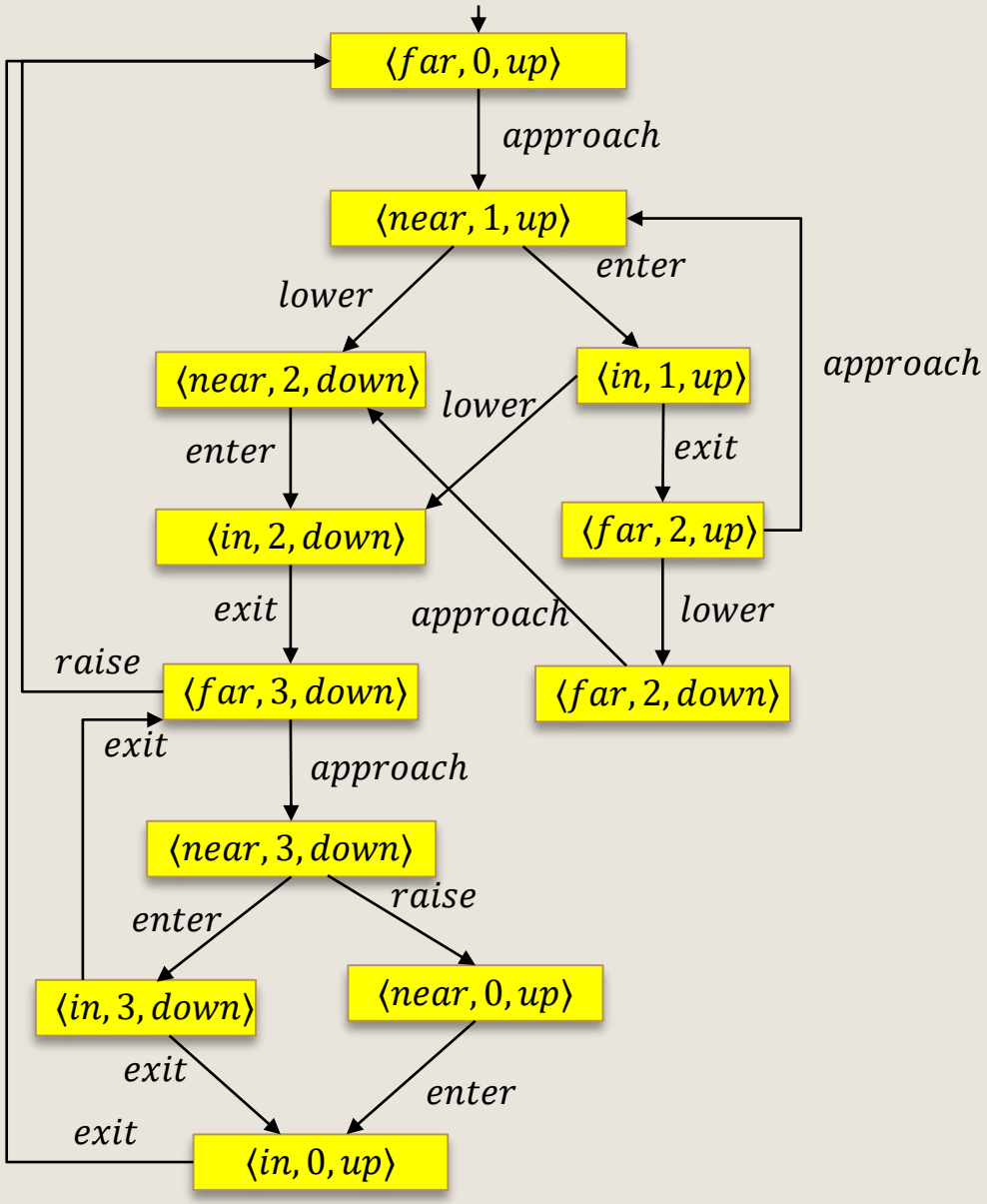


Controller



Gate

מערכת המעברים המורכבת



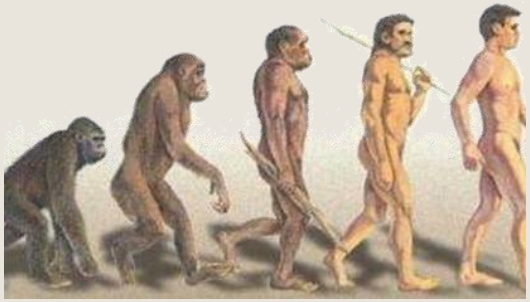
שגיאת תכנון

$$\langle far, 0, up\rangle \xrightarrow{approach} \langle near, 1, up\rangle \xrightarrow{enter} \langle in, 1, up\rangle$$

הבקר פועל נכון רק אם ירידת המחסום
מהירה מהזמן העובר בין ההתראה להגעת הרכבת

סיכום

- הרכבת תוכניות בלתי תלויות:
  שזירת מערכות מעברים
- הרכבת תוכניות המתקשרות באמצעות משתנים משותפים:
  שזירת גרפי תוכנית
- הרכבת תוכניות המתקשרות דרך הודעות סינכרוניות:
  לחיצת יד

עד כאן הגענו

- מערכת מבוזרת עם ערוצים אסינכרוניים:
  מערכות ערוצים