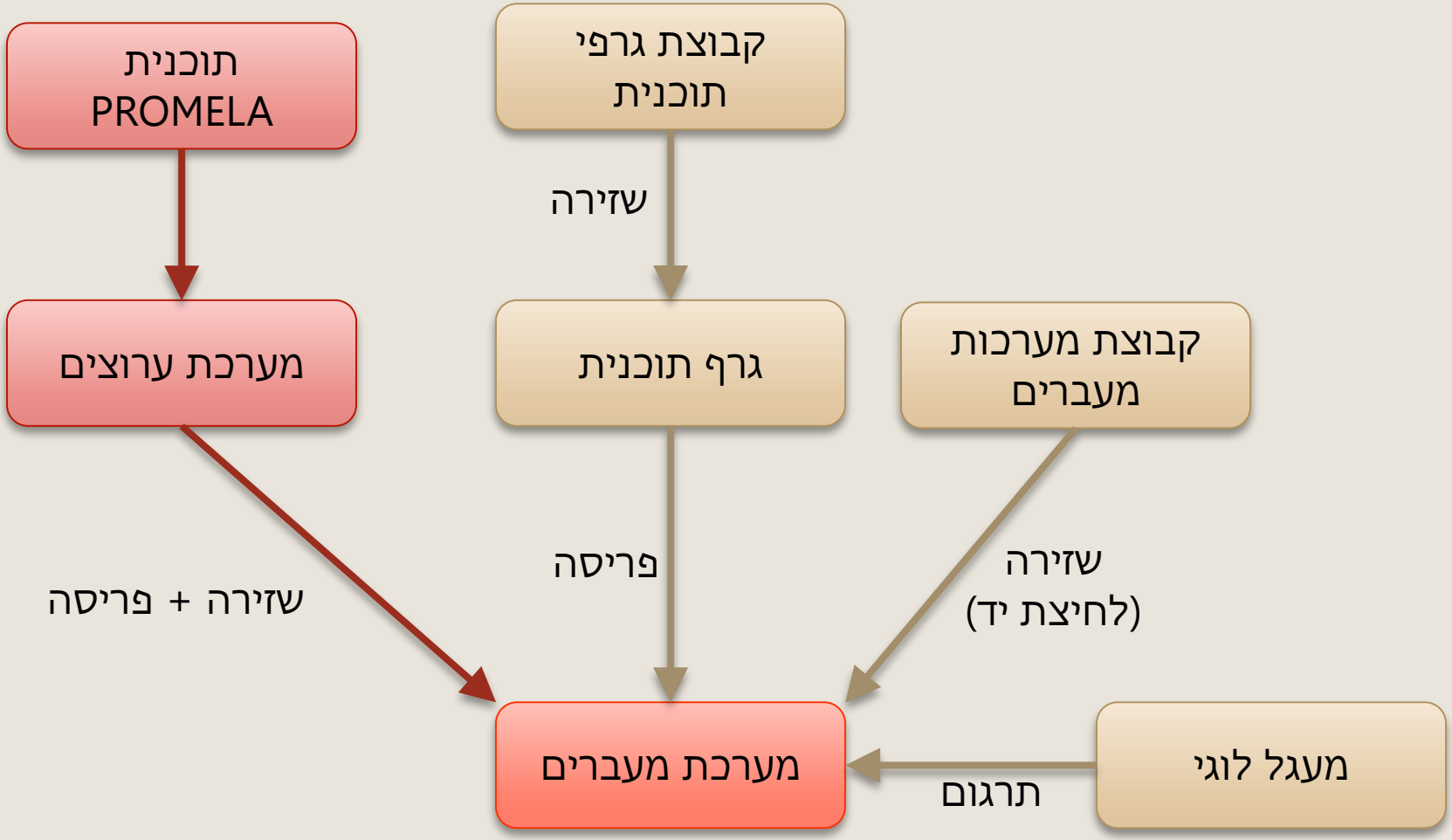
225

בעיית פיצוץ המצבים
state explosion

גרא וייס
המחלקה למדעי המחשב
אוניברסיטת בן-גוריון

מספר דרכים להגדרת מערכות מעברים



מה מספר המצבים?

מה גודל מערכת המעברים שמייצרים (ע"י הרכבה ופריסה) ?

איך אפשר למצוא מערכת מעברים "שקולה" אבל קטנה יותר?

בעיה: זמן ריצה וכמות הזיכרון הנדרשים לאלגוריתמים לניתוח מערכות מעברים תלויים בגודל המערכת!

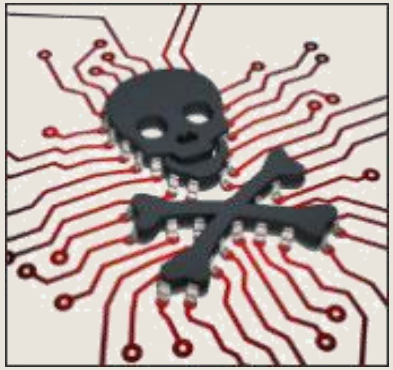
בעיית ריבוי המצבים
state explosion problem

- סיבוכיות האלגוריתמים שנבנה לבדיקת מודל (בהמשך הקורס)
  - תלויה בתכונה שרוצים לבדוק – פחות מפריע
  - ובגודל מערכת המעברים הנבדקת – בעיה קריטית ומאוד מגבילה

- גודל מערכת מעברים:

$$|TS| = |S| + |\rightarrow|$$

מספר המצבים פלוס מספר המעברים.



- גודל מערכות מעברים עבור
  - גרף תוכנית: אקספוננציאלי במספר המשתנים
  - מערכות מקביליות: אקספוננציאלי במספר הרכיבים
  - מערכות ערוצים: אקספוננציאלי במספר הערוצים

מערכות מעברים מגרף תוכנית

- מספר המצבים במערכת מעברים הנפרשת מגרף תוכנית

$$|locations| \cdot \prod_{x \in Var} |dom(x)|$$

- מסקנה: מספר המצבים גדל אקפוננציאלית עם מספר המשתנים.
- תוכנית עם 10 מקומות, 3 משתנים בוליאניים ו-5 משתנים בטווח 0..9

$$10 \cdot 2^3 \cdot 10^5 = 8{,}000{,}000$$

- הוספת וקטור של 50 ביטים נותנת $8{,}000{,}000 \cdot 2^{50}$ מצבים!
- לזה קוראים "בעיית ריבוי המצבים" - state explosion problem

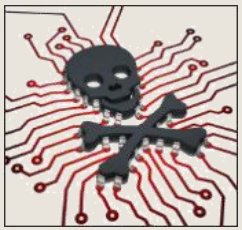
להשוואה: מספר החלקיקים היסודיים ביקום מוערך בסביבות ה-10^{80}

תוכניות מקביליות

- מספר המצבים (הנגישים) ב-TS_n $TS = TS_1 ||| \cdots ||| TS_n$ יכול להגיע ל-

$$|TS_1| \cdot |TS_2| \cdots |TS_n|$$

- מסקנה: מספר המצבים גדל אקספוננציאלית עם מספר הרכיבים
- הרכבת n רכיבים, כל אחד בגודל k, נותנת מערכת עם k^n מצבים
- שוב: בעיית ריבוי המצבים – **state explosion problem**



מערכות ערוצים

- תקשורת אסינכרונית של תהליכים דרך ערוצים
  - כל ערוץ c בעל קיבולת סופית $cap(c) < \infty$
  - אם $cap(c) = 0$ מקבלים לחיצת-יד (handshaking)

- מספר המצבים במערכת עם N רכיבים, משתנים Var וערוצים $Chan$ יכול להגיע ל:

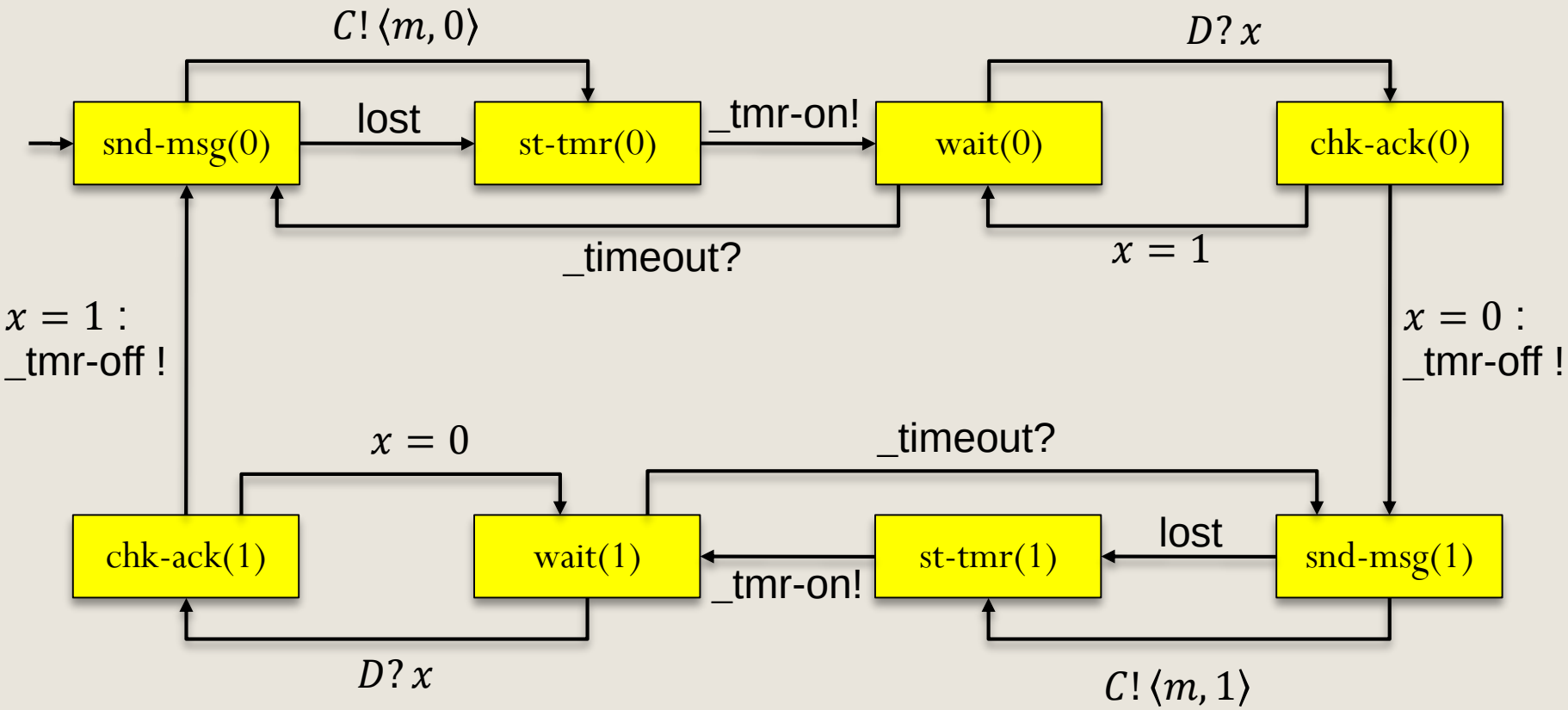
דוגמא

$$cap(C) = 3$$
$$dom(C) = \{A, B, C, D, E\}$$
$$\xi(C) \in \{\epsilon\} \cup \{A, \dots, E\} \cup \{AA, \dots, EE\} \cup \{AAA, \dots, EEE\}$$
$$5^0 + 5^1 + 5^2 + 5^3 = 156$$

$$\prod_{i=1}^{N} |Loc_i| \cdot \prod_{x \in Var} |dom(x)| \cdot \prod_{C \in Chan} \left(\sum_{j=0}^{cap(C)} |dom(C)|^j \right)$$

- זה המבנה המוגדר ע"י קוד Promela (וגם nanoPromela)

פרוטוקול הביט המתהפך

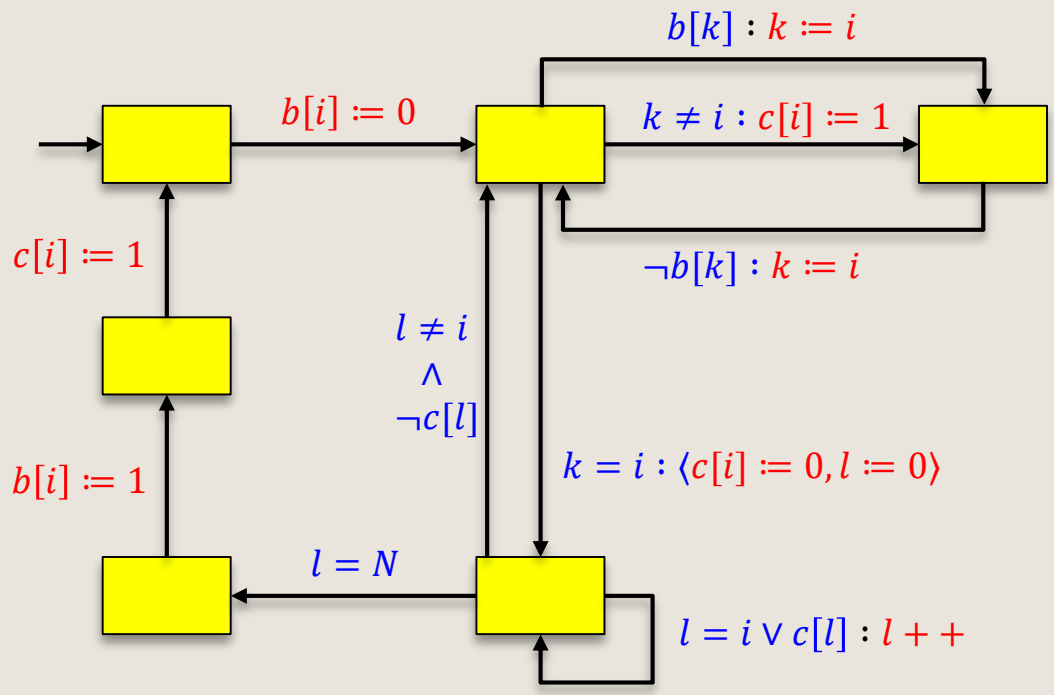


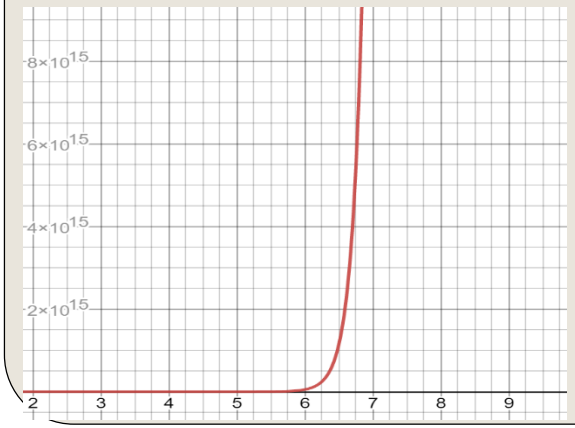
קיבולת ערוץ עם 10 הודעות בוליאניות נותן

$2 \cdot 6 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 2 \cdot \left(\sum_{i=0}^{10} 2^i\right)^2 = 1{,}607{,}468{,}544$ מצבים

אלגוריתם המניעה ההדדית של דֶיְיקְסְטְרָה

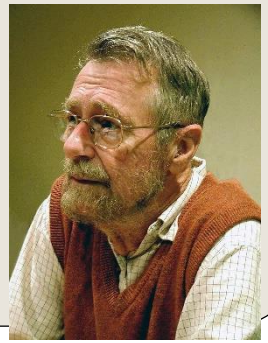
- שני מערכי ביטים באורך N
- משתנה גלובלי k
  - טווח ערכים $1, \dots, N$
- משתנה מקומי l
  - טווח ערכים $1, \dots, N$
- שישה מקומות בתהליך



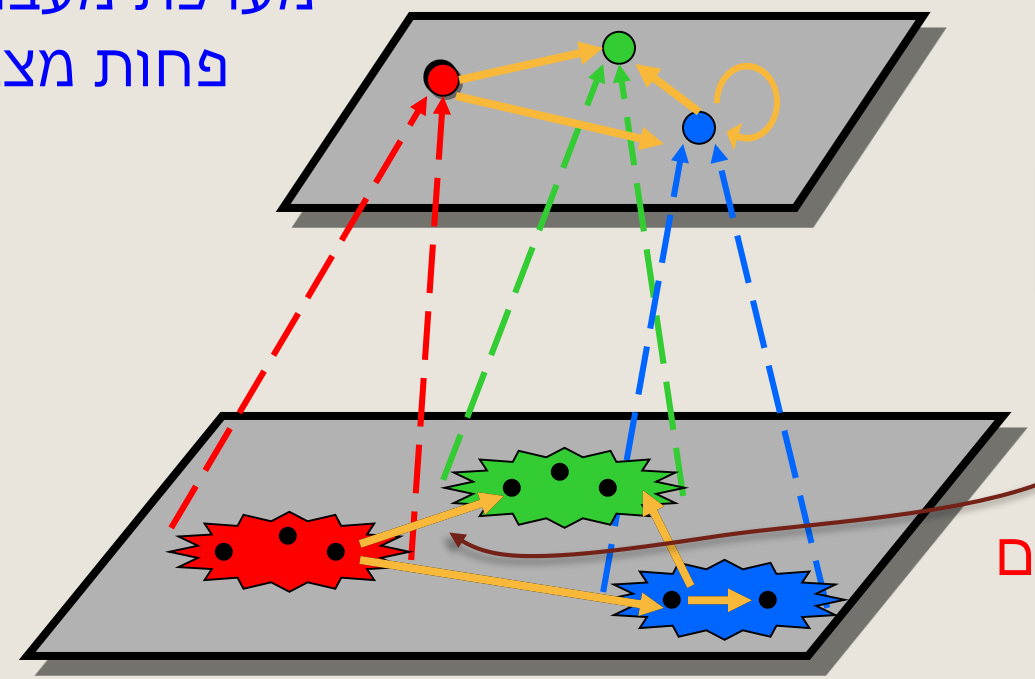


סה"כ $2^N \cdot 2^N \cdot N \cdot N^N \cdot 6^N$ מצבים

Edsger W. Dijkstra



מה עושים?

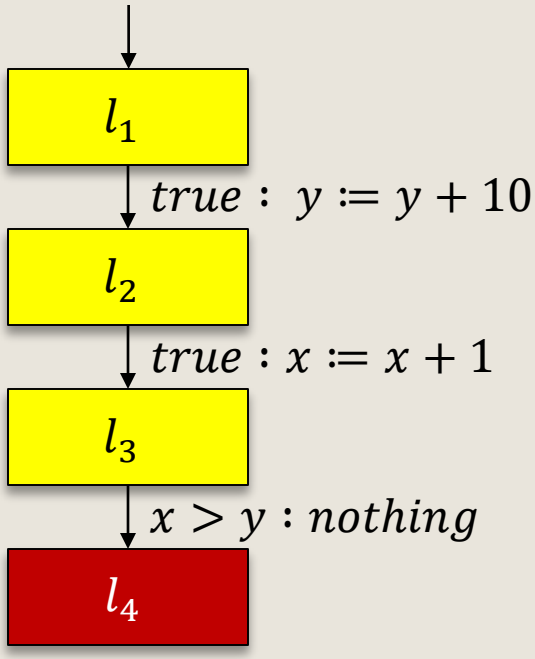


אבסטרקציה

דוגמא: נבדוק אם קיים מסלול למצב בעייתי בגרף התוכנית. אם לא, סימנו. אחרת, נבנה נוסחה לוגית המתארת את התנאים לאורך המסלול וננסה לספק אותה. אם הצלחנו, סימנו. אחרת, נוסיף תנאי לבדיקה, וננסה שוב.

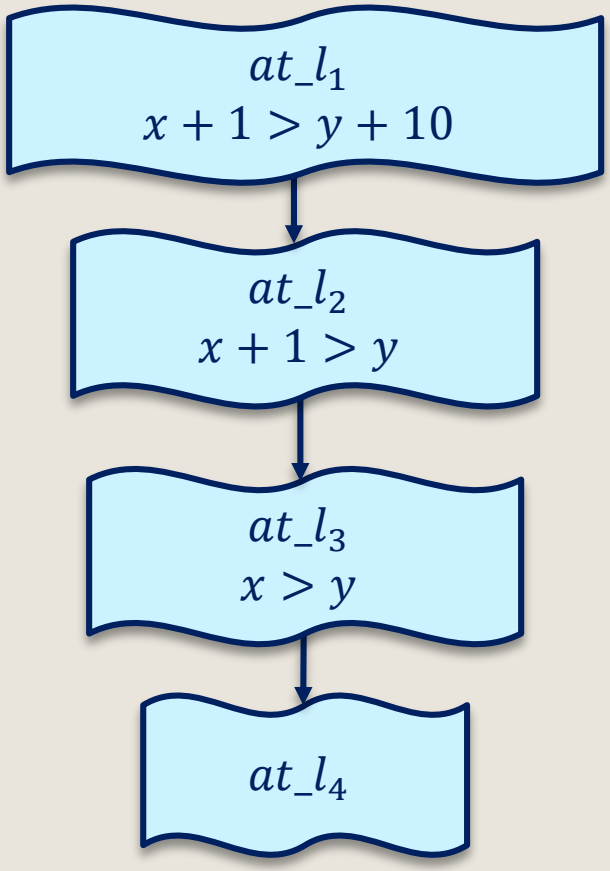
מה עושים?

$1 \le x \le 10, 1 \le y \le 10$



Assertion violation

לא אפשרי עם תנאי ההתחלה של התוכנית



ייצוג קבוצות מצבים באופן סימבולי

סיכום פרק ראשון

- מערכות מעברים
  מודל בסיסי לתיאור מערכות תוכנה וחומרה
- ריצות
  סדרות מתחלפות של מצבים ומעברים שלא ניתן להאריך
- שזירה
  מודל להרצת תהליכים מקבילים ע"י בחירה לא דטרמיניסטית
- משתנים משותפים
  הרכבה מקבילה של מערכות מעברים אינה מספיקה
  לכן משתמשים בהרכבת גרפי תוכנית (או בפריסת מערכות ערוצים)

סיכום פרק ראשון

- לחיצת יד (handshaking) על קבוצת פעולות H
  - ביצוע הפעולות ב-H בו-זמנית והפעולות שאינן ב-H באופן
- מערכות ערוצים = גרפי תוכנית + ערוצי תקשורת
  - לחיצת יד (כאשר $cap = 0$) או תקשורת אסינכרונית (כאשר $cap > 0$)
  - המודל הסמנטי מאחורי Promela
- בעיית ריבוי המצבים State Explosion Problem
  - גודל מערכת המצבים אקספוננציאלי במספר המשתנים, מספר הרכיבים המקבילים, ובמספר הערוצים
  - אפשר לעקוף את הבעיה, במקרים מסוימים, באמצעות ייצוג סימבולי של קבוצות ובאמצעות אבסטרקציה