# ביצוע שאילתות במסדי נתונים רלציוניים



## תזכורת: יחסים (relations)

רב-קבוצה (multiset) של איברים (שורות)
ממכפלה הקרטזית של תחומים

students $\subseteq$ string $\times$ year $\times$ grade

relation scheme:
שם היחס והתכונות שלו, ותחומיהם.
Students(name,birth_year,grade)

| שם פרטי | שנת לידה | ציון |
|---|---|---|
| אלה | 1980 | 85 |
| אלון | 1963 | 66 |
| נורית | 1998 | 52 |
| ארז | 1959 | 73 |
| צאלה | 1980 | 98 |

שורות יכולות להופיע מספר פעמים, ולסדר יש חשיבות

# תזכורת: פעולות על יחסים

**<u>פעולות שמחזירות יחס חדש</u>**

- $\cup \cap \setminus \times$ – איחוד, חיתוך, הפרש, מכפלה
- $\sigma$ – בוחר חלק מהרשומות
- $\pi$ – הטלה (projection) – בוחר חלק מהעמודות
- $\rho_{A\to B}$ – החלפת שם של שדה
- $\delta$ – הפוך את היחס לקבוצה (השאר עותק אחד מכל רשומה)
- $\bowtie$ – צירוף יחסים
- sort – מארגן מחדש את היחס על ידי מיון על פי תכונה או מספר תכונות

**<u>פונקציות הקבצה על עמודה המכילה מספרים</u>**

- max, min, average, sum – מחזירות מספר

**<u>פונקציות הקבצה על טבלה</u>**

- count – מחזירה מספר



# תזכורת: סימונים

עבור יחס R, נסמן

T(R) = מספר הרשומות ב R.

V(R) = מספר הרשומות השונות של R: $V(R)=T(\delta(R))$.

B(R) = מספר הבלוקים (גזרות) ש R תופס.

M = מספר הבלוקים שניתן להחזיק בזיכרון הראשי.

לא נחייב על הפעולות הדרושות לכתיבת התוצאה לדיסק.

- אם תוצאת ביניים, מועבר לשלב הבא (pipeline) ולא נכתב לדיסק
- אם זו פעולה אחרונה, גודל הפלט אינו תלוי בשיטת החישוב ולא משפיע על בחירתה

# תזכורת: אלגוריתמים לביצוע פעולה בודדת

- מעבר יחיד (לא תמיד ניתן ליישום)
- לולאות מקוננות (לא תמיד ניתן ליישום)
- אלגוריתמים מבוססי מיון
- אלגוריתמים מבוססי ערבול
- אלגוריתמים המשתמשים באינדקס קיים של יחס



# סיבוכיות אלגוריתמי מעבר יחיד

| הפעולה | דרישות הזיכרון | גישות דיסק |
|---|---|---|
| ממוצע, $\pi$, $\sigma$ | $O(1)$ | $B(R)$ |
| $\cup$ | $O(1)$ | $B(R) + B(S)$ |
| $\delta$ במעבר אחד | $\delta(R)$ | $B(R)$ |
| $\bowtie \times \cap \setminus$ | $\delta(S)$ | $B(R) + B(S)$ |

השיטה היעילה ביותר מבחינת זמן, אבל דרישות זיכרון גבוהות

# לולאות מקוננות nested loops

אלגוריתם **נאיבי** לביצוע פעולות בינריות בין יחסים גדולים:

```
for each tuple s in S
  for each tuple r in R
        process tuples r and s
```

למשל עבור צירוף:

```
for each block S {
  read a tuple s;
  for each block in R {
        read a tuple r;
        if s and r join to make a tuple t
              output t; }
}
```

סיבוכיות זמן: T(S)B(R)

**שיטה שלרב עובדת, אבל מאוד לא יעילה מבחינת זמן**



# צירוף בלולאות מקוננות: שיפור

ננצל M-4 בלוקים של זיכרון לאחסון S

איטרציה ראשונה:

קרא M-4 בלוקים של S

קרא את כל R (עם חוצצים כפולים), ולכל רשומה r ב-R

– חפש בין הבלוקים של S שבזיכרון את כל הרשומות s שעבורן: r.A = s.A

– הוצא את s ⋈ r לפלט

מספר גישות דיסק בכל מחזור: $M + B(R) \cong (M\text{-}4) + B(R)$

מספר המחזורים: $B(S) / M \cong \lceil B(S)/(M\text{-}4) \rceil$ — אם M >> 4

סך-הכל:

$B(S)/M(M + B(R)) \cong B(S) + B(S)\,B(R) / M \cong B(S)\,B(R) / M$

**אם אחד היחסים גדול בהרבה מהשני, נעדיף שהיחס הגדול יהיה ה- R.**

איפה משתמשים בהנחה הזו?

# צירוף מבוסס מיון

נניח ש-R ו-S ממויינים לפי A, קבוצת התכונות המשותפות ל-R ול-S
ונניח שלכל ערך a של A מתקיים $|\sigma_{A=a}(S)| \le M$.

<u>עבור</u> על S ועל R.
הכנס לזיכרון את הרשומות הראשונה s של S ו- r של R.
<u>אם</u> $\pi_A(r) > \pi_A(s)$ החלף את s ברשומה הבאה של S
<u>אחרת אם</u> $\pi_A(r) < \pi_A(s)$ החלף את r ברשומה הבאה של R
<u>אחרת</u> קרא לזיכרון את כל הרשומות של S עבורן $\pi_A(s') = \pi_A(s)$
לכל רשומה r' של R עבורה $\pi_A(r') = \pi_A(s)$:
לכל s' בזיכרון הוצא לפלט את הרשומה $r' \bowtie s'$

סיבוכיות: B(S) + B(R)
בלי לקחת בחשבון את הזמן הדרוש לכתיבת הפלט, שהוא $B(S \bowtie R)$



# דוגמה לביצוע צירוף באמצעות מיון

R

| A | B | C |
|---|---|---|
| a | b | c |
| a1 | b1 | c |
| a1 | b1 | c1 |
| a1 | d | c2 |

S

| C | D |
|---|---|
| c | d1 |
| c2 | d2 |
| c2 | d3 |

$R \bowtie S$

| A | B | C | D |
|---|---|---|---|
| a | b | c | d1 |
| a1 | b1 | c | d1 |
| a1 | d | c2 | d2 |
| a1 | d | c2 | d3 |

# סיבוכיות אלגוריתמים מבוססי מיון

| הפעולה | מספר גישות לדיסק לקריאת קלט | מספר הבלוקים בזיכרון הראשי |
|---|---|---|
| $\delta$ | B(R) | 1 |
| Min, Max | 1 | 1 |
| $\cap$ , $\cup$, / (שומר מיון) | B(S)+B(R) | *2 |
| $\bowtie$ | B(S)+B(R) | *2 |

* בהנחה שבכל יחס, כל הרשומות הזהות בתכונות הצירוף נכנסות בבלוק אחד



# סיכום פעולות בעזרת ערבוב

עבור $B(R) \le M^2 / 2$ מספר גישות הדיסק הוא:

$\delta$ 3B(R)

חיתוך, צירוף, וכו' 3B(S) + 3B(R)

אם B(R) גדול יותר, נחליף את המקדם 3 ב-5 (מדוע?)

# סיכום: אלגוריתמים לביצוע פעולה בודדת

- מעבר יחיד (לא תמיד ניתן ליישום)
- לולאות מקוננות (לא תמיד ניתן ליישום)
- אלגוריתמים מבוססי מיון
- אלגוריתמים מבוססי ערבול
- אלגוריתמים המשתמשים באינדקס קיים של יחס



# אלגברה רלציונית

אפשר לכתוב כל מיני ביטויים אלגבריים עם הפעולות שהכרנו, למשל:

הביטוי:

$$\pi_{name,addr}(\sigma_{title=\text{“harry potter” and gender = F}}(MovieStar \bowtie StarsIn))$$

עם הסכמות:

MovieStar(name, addr, gender), StarsIn(title, year, name)

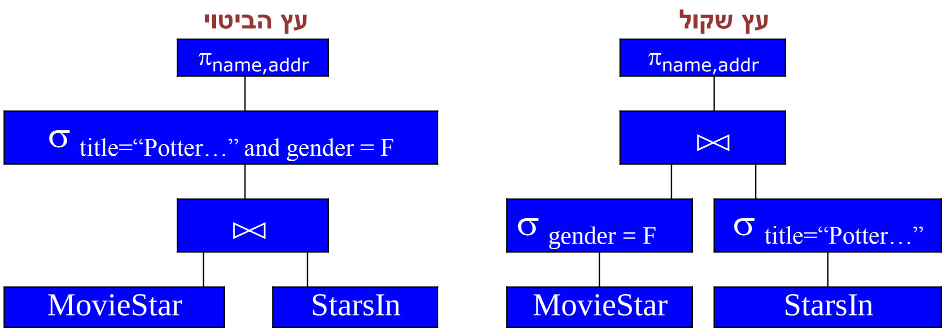
מחזיר את שמות כל השחקניות של "הארי פוטר" ואת הכתובות שלהן.

תרגום של

```
SELECT name, addr
FROM MovieStar, StarsIn
WHERE title="harry potter" and
          gender=F and
          MovieStar.name=StarsIn.name;
```

# עץ של ביטוי באלגברה רלציונית

$\pi_{\text{name,addr}}(\sigma_{\text{title ="Potter...", gender = F}}(\text{MovieStar} \bowtie \text{StarsIn}))$




$\pi_{\text{name,addr}}(\sigma_{\text{gender = F}}(\text{MovieStar}) \bowtie \sigma_{\text{title="Potter..."}}(\text{StarsIn}))$



# שקילויות באלגברה רלציונית

אסוציאטיביות של צירוף:

$(R \bowtie S) \bowtie T = R \bowtie (S \bowtie T)$

קומוטטיביות של צירוף:

$R \bowtie S = S \bowtie R$

הקדמת ביצוע של בחירה (ל S ול R אותן תכונות):

$\sigma_C(R \cap S) = \sigma_C(R) \cap S = R \cap \sigma_C(S) = \sigma_C(R) \cap \sigma_C(S)$

אם תנאי הבחירה C מתייחס לתכונות משותפות של R ושל S:

$\sigma_C(R \bowtie S) = \sigma_C(R) \bowtie S = R \bowtie \sigma_C(S) = \sigma_C(R) \bowtie \sigma_C(S)$

# הקדמת ביצוע של פעולת בחירה

ביצוע של פעולת בחירה מקטין את מספר הרשומות ביחס,
כדי להיפטר מרשומות כמה שיותר מוקדם, נוריד את הפעולה בעץ הביטוי

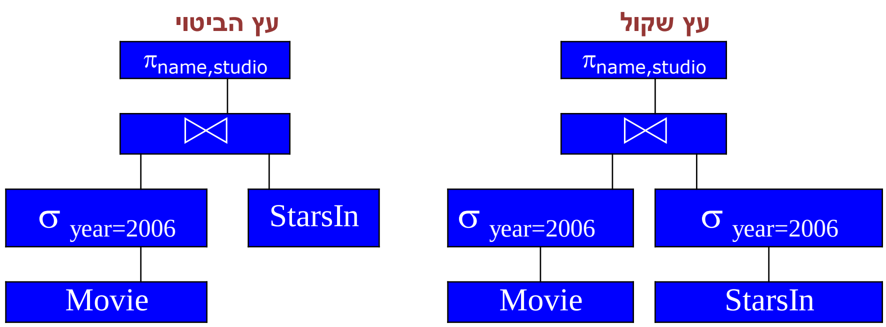
$\sigma_{\text{title} = \text{“Potter…”},\ \text{gender} = \text{F}}(\text{MovieStar} \bowtie \text{StarsIn}) =$
$\sigma_{\text{gender} = \text{F}}(\text{MovieStar}) \bowtie \sigma_{\text{title}=\text{“Potter…”}}(\text{StarsIn})$

$\sigma_{\text{gender} = \text{F}}$ יקטין (במחצית?) את גודל היחס
$\sigma_{\text{title}=\text{“Potter…”}}$ יקטין מאוד את היחס (ייכנס כולו לזיכרון)



# יותר מתוחכם: העלאה לצורך הורדה

Movie(title, year, studio) , StarsIn(title, year, name)
$\pi_{\text{name,studio}}(\sigma_{\text{year} = 2006}(\text{Movie}) \bowtie \text{StarsIn})$




$\pi_{\text{name,studio}}(\sigma_{\text{year} = 2006}(\text{Movie}) \bowtie \sigma_{\text{year} = 2006}(\text{StarsIn}))$

# הקדמת הטלות

<u>המוטיבציה:</u>

הטלה מקטינה את גודל הרשומות,
בדרך-כלל, כדאי להקטין את הרשומות כמה שאפשר יותר מוקדם.

מתי לא כדאי להוריד את ה- $\pi$ בעץ הביטוי?

כאשר ליחס יש אינדקס,
ביצוע ההטלה ייצור יחס חדש חסר אינדקס.
עבור יחס ממוין, ההטלה אינה בהכרח ממוינת.



# הקדמת $\delta$

פעולת $\delta$ מקטינה את מספר הרשומות,
בדרך כלל, כדאי לבצעה מוקדם ככל האפשר.

$$\delta(R \bowtie S) = \delta(\delta(R) \bowtie S)$$
$$= \delta(R \bowtie \delta(S))$$
$$= \delta(R) \bowtie \delta(S)$$

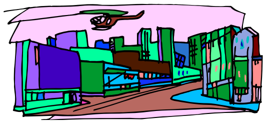
ואפילו יותר מפעם אחת

כמו הטלה, $\delta$ עלולה לגרום לאובדן של אינדקס,
כך שלפעמים הקדמת הפעולה אינה כדאית.

# הערכת גודל התוצאה

מספר גישות הדיסק לביצוע פעולה תלוי בגודל הקלט, אבל ...

- כאשר מחשבים זמן ביצוע לעץ,
  זמן הביצוע של צומת פנימי תלוי בגודל הפלט של בניו,
  ועל כן יש לחשב את גודל התוצאה של ביצוע הפעולות הרלציוניות המתאימות להם.



- בד"כ, אי-אפשר לחשב מראש את הגודל במדויק,
  ולכן מטרתנו היא לקבל הערכה.

- דוגמה להערכת גודל תוצאה בהטלה $\pi$: אם ליחס R יש n רשומות, ובשדות שנבחרו יש f בתים, אזי הגודל של $\pi(R)$ הוא $n \cdot f$ בתים



# הערכת גודל תוצאת בחירה $\sigma$

מספר הערכים השונים שיש לתכונה A

$V(R,A) = T(\delta(\pi_A(R)))$

תוחלת מספר הרשומות עם ערך ספציפי הוא

$E(T(\sigma_{A=x}(R))) = T(R) / V(R,A)$

חישוב זה אינו תלוי בהתפלגות הערכים בתוך R, אלא רק בהנחה שהערך x בפעולת ה- $\sigma$ נבחר באופן אחיד מתוך הערכים שב R

לדוגמה, אם לתכונה A שני ערכים a, b ‏( $V(R,A) = 2$ ) ומתקיים:

$P(\pi_A(R) = a) = 0.9$, $P(\pi_A(R) = b) = 0.1$

ונניח ש-x נבחר בהסתברות שווה בין a,b, אז

$$E(T(\sigma_{A=x}(R))) = ½ T(\sigma_{A=a}(R)) + ½ T(\sigma_{A=b}(R))$$
$$= ½ (0.9 T(R)) + ½ (0.1 T(R)) = T(R) /2 = T(R) / V(R,A)$$

# הערכת גודל שאילתות טווח $T(\sigma_{A \le x}(R))$

אם ההתפלגות על התחום ידועה:

$E(T(\sigma_{A \le x}(R))) = P(A \le x)\ T(R)$

אחרת נניח שההתפלגות אחידה:

- עבור תחום רציף $A = [a,b]$:

$E(T(\sigma_{A \le x}(R))) = (x-a)/(b-a)\ T(R)$

- עבור תחום סופי $A = \{a_1,\ldots,a_n\}$ כאשר $a_1 < a_2 < \cdots < a_n$ :

$E(T(\sigma_{A \le ai}(R))) = (i / n)\ T(R)$

- עבור תחום בגודל לא-ידוע, נניח באופן שרירותי שמתקיים:

$T(\sigma_{A \le x}(R)) = ⅓T(R) \Rightarrow T(\sigma_{A > x}(R)) = ⅔T(R)$



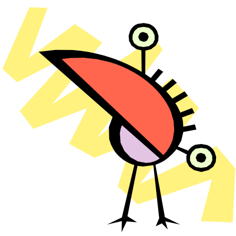
# הערכת גודל שאילתות טווח 2

מה עם $T(\sigma_{x \le A \le y}(R))$ ?

$\sigma_{x \le A \le y}(R) = \sigma_{x \le A}(\sigma_{A \le y}(R))$

עבור תחום לא ידוע נניח ש-2/9 מהרשומות מקיימות את התנאי לפי השיקול הבא:

$T(\sigma_{x \le A \le y}(R)) = ⅔\ T(\sigma_{A \le y}(R)) = ⅔\ ⅓\ T(R) = (2/9)T(R)$



# הערכת גודל תוצאת $\delta$

נביט ביחס בעל סכמה $R(A_1,\ldots,A_n)$

בהגדרה $T(\delta(R)) = V(R)$, אבל בדרך-כלל $V(R)$ אינו ידוע.

נסמן $V(R,A_i) = V(\pi_{A_i}(R))$

מתקיים $1 \le V(R) \le \prod_{1\le i\le n} V(R,A_i)$

כלל אצבע: $V(R) = \min\left\{\prod_{1\le i\le n} V(R,A_i), \frac{1}{2}T(R)\right\}$



# הערכת גודל צירוף $R(X,Y) \bowtie S(Y,Z)$

הנחות:

- Y היא תכונה בודדת
- ערכי Y ממוינים כך ש- $p(y_1) \ge \ldots \ge p(y_n)$
- ערכי Y הם רישא של הסדרה $y_1,\ldots,y_n$

כלומר, $y_{i+1} \in \pi_Y(R) \Leftarrow y_i \in \pi_Y(R)$

<u>דוגמה:</u>

נסתכל על ההתפלגות של אותיות באנגלית $e, t, a, o, \ldots, q, z$

לפי סדר שכיחות (e היא האות הנפוצה ביותר, ו-z הנדירה ביותר)

ניח שהשדה Y מכיל אות בודדת בהתפלגות הנ"ל.

אז ההנחה אומרת שאם $o \in V(Y,R)$ אז גם $e, t, a \in V(Y,R)$

## הערכת גודל צירוף $R(X,Y) \bowtie S(Y,Z)$

הנחות:

- Y היא תכונה בודדת
- ערכי Y ממוינים כך ש- $p(y_1)\geq\ldots\geq p(y_n)$
- ערכי Y הם רישא של הסדרה $y_1,\ldots,y_n$

כלומר, $y_{i+1}\in \pi_Y(R) \Rightarrow y_i\in \pi_Y(R)$

⇦ אם $V(S,Y) \leq V(R,Y)$ אז $\pi_Y(S) \subseteq \pi_Y(R)$

- שמירת ערכים: $\pi_X(R \bowtie S) = \pi_X(R)$
  - לכל התכונות של R
  - באופן סימטרי, לכל התכונות של S



## הערכת גודל צירוף $R(X,Y) \bowtie S(Y,Z)$

אם $V(S,Y) \leq V(R,Y)$ אז נעריך כי:

ניתן לשלב זוג רשומות $r \in R$ , $s \in S$ בהסתברות $1/ V(R,Y)$

⇦ בממוצע s ישתלב עם $T(R)/ V(R,Y)$ רשומות מ-R

⇦ $E(T(R \bowtie S)) = T(S)\cdot T(R)/V(R,Y)$

אם $V(S,Y)>V(R,Y)$,

אז $E(T(R \bowtie S)) = T(S)\cdot T(R)/V(S,Y)$

ובאופן כללי:

$E(T(R \bowtie S)) = T(S)\cdot T(R)/\max\{V(S,Y),V(R,Y)\}$

# השוואת אלטרנטיביות לחישוב

דוגמה: חישוב $R(X,Y) \bowtie S(Y,Z) \bowtie U(Z,W)$

| R(X,Y) | S(Y,Z) | U(Z,W) |
|---|---|---|
| T(R)=1000 | T(S)=2000 | T(U)=5000 |
| V(R,Y) = 20 | V(S,Y) = 50 | |
| | V(S,Z) = 100 | V(U,Z) = 500 |

ראשית, $R(X,Y) \bowtie S(Y,Z)$:

$$E(T(R \bowtie S)) = T(S) \cdot T(R)/\max\{V(S,Y),V(R,Y)\}$$
$$= 2{,}000 \times 1{,}000 / 50 = 40{,}000$$



# הערכת $T(R \bowtie S \bowtie U)$

$$T((R(X,Y) \bowtie S(Y,Z)) \bowtie U(Z,W)) =$$
$$= T(R \bowtie S)\, T(U) / \max\{V(R \bowtie S, Z), V(U,Z)\}$$

| R(X,Y) | S(Y,Z) | U(Z,W) |
|---|---|---|
| T(R)=1000 | T(S)=2000 | T(U)=5000 |
| V(R,Y) = 20 | V(S,Y) = 50 | |
| | V(S,Z) = 100 | V(U,Z) = 500 |

בגלל ההנחה על שמירת הערכים

$$V(R \bowtie S, Z) = V(S,Z) = 100$$

לכן:

$$T((R \bowtie S) \bowtie U) = 40{,}000 \times 5{,}000 / \max\{100, 500\}$$
$$= 400{,}000$$

# הערכת $T(R \bowtie S \bowtie U)$

$T(S \bowtie U) = T(S) \times T(U) / \max\{V(S, Z),V(U,Z)\} = 2{,}000 \times 5{,}000 / 500 = 20{,}000$

| R(X,Y) | S(Y,Z) | U(Z,W) |
|---|---|---|
| T(R)=1000 | T(S)=2000 | T(U)=5000 |
| V(R,Y) = 20 | V(S,Y) = 50 | |
| | V(S,Z) = 100 | V(U,Z) = 500 |

בגלל ההנחה על שמירת ערכים

$V(S \bowtie U, Y) = V(S,Y) = 50$

$T(R \bowtie (S \bowtie U)) = T(R)\times T(S \bowtie U)/\max\{V(R,Y),V(S \bowtie U,Y)\}$
$= 1{,}000\times 20{,}000/\max\{20,50\} = 400{,}000$

כיוון ש $(R \bowtie S) \bowtie U) = R \bowtie (S \bowtie U)$, קיבלנו אותו ערך בשתי הדרכים



# הערכת זמן החישוב לפי גודל תוצאות הביניים

כדי לקבל הערכה גסה לזמן החישוב,
נסכם את גודלי תוצאות הביניים (בלי העלים והשורש).

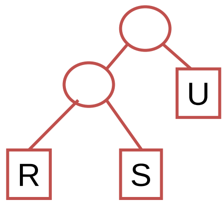
דוגמה קודמת: חישוב $R(X,Y) \bowtie S(Y,Z) \bowtie U(Z,W)$

א. $(R \bowtie S) \bowtie U$
תוצאת הביניים: $E(T(R \bowtie S)) = 40{,}000$

ב. $R \bowtie (S \bowtie U)$
תוצאת הביניים: $E(T(S \bowtie U)) = 20{,}000$

# Pipelining

ניתן לחשב את $(R \bowtie S) \bowtie U$ בשני אופנים:




א. לכתוב את $R \bowtie S$ לדיסק ולקרוא אותו
שוב לצורך חישוב הצירוף שבשורש (עם U).

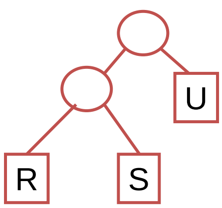
ב. לבצע pipelining:
להעביר כל שורה מיד עם היווצרותה
לתכנית שתבצע את הצירוף שבשורש.

ביצוע pipeline דורש יותר זיכרון.
אם אין מספיק זיכרון, ייתכן שנאלץ לבצע אלגוריתם פחות יעיל.

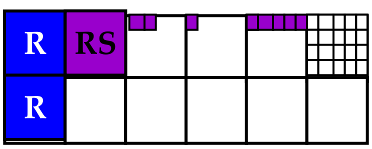


# דוגמא -Pipelining

$(R \bowtie S) \bowtie U$



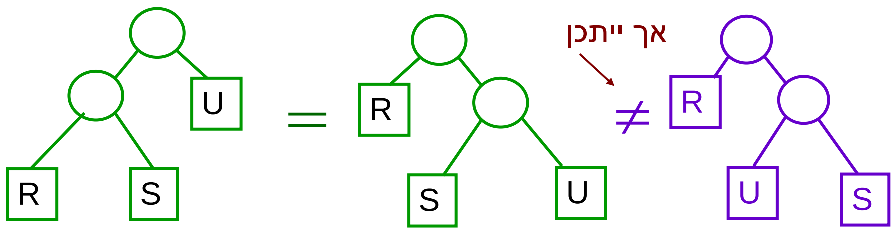

- הזיכרון בגודל 12 חוצצים, B(R)=2, B(S)=30, B(U)=40
- נבצע $RS=(R \bowtie S)$ במעבר יחיד כאשר R בזיכרון:
  - 2 חוצצים לשמירת R בזיכרון
  - 2 חוצצים לקריאה יעילה של S
  - נותרו 8 חוצצים: נשתמש בהם לחלוקה לדליים של התוצאה
- נחלק בהמשך את U לדליים (כמה?)
  לצורך חישוב התוצאה הסופית
- החיסכון: $2*B(R \bowtie S)$ גישות לדיסק




- האם אפשר להשתמש גם בשיטות ביצוע אחרות?

# בחירת עץ החישוב

עבור פעולות אסוציאטיביות:

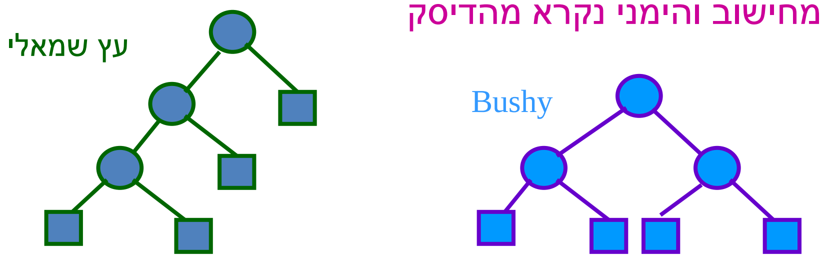



עבור פעולות קומוטטיביות ואסוציאטיביות שלושת העצים שקולים.



# שימוש בעץ חישוב שמאלי

עץ שמאלי מאפשר ביצוע pipeline: בכל צומת, היחס השמאלי מתקבל מחישוב והימני נקרא מהדיסק




<u>היוריסטיקה:</u> לסדר את היחסים לפי גודלם
- היחס הקטן ביותר יתאים לעלה השמאלי ביותר,
- כך שתוצאות הביניים תהיינה קטנות ככל הניתן.

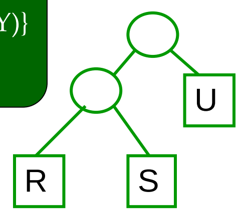
# בחזרה לדוגמה הקודמת

| R(X,Y) | S(Y,Z) | U(Z,W) |
|---|---|---|
| T(R)=1000 | T(S)=2000 | T(U)=5000 |

העץ המתקבל מתוך ההיוריסטיקה

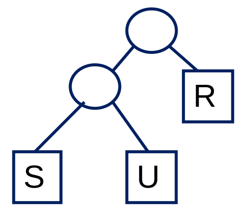
$E(T(R \rhd\lhd S))$
$= T(S)T(R)/\max\{V(S,Y),V(R,Y)\}$
$= 2{,}000 \times 1{,}000 / 50$
$= 40{,}000$

אינו אופטימלי




Estimated cost = 40,000

עץ אופטימלי




Estimated cost = 20,000



# דוגמה מסכמת

| | W(A,B) | X(B,C) | Y(C,D) | Z(D,E) |
|---|---|---|---|---|
| T | 100 | 200 | 300 | 400 |
| V | A: 20 | B: 50 | C: 50 | D: 40 |
| V | B: 60 | C: 100 | D: 50 | E: 100 |

רוצים לבצע $W \bowtie X \bowtie Y \bowtie Z$

נשתמש בעץ שמאלי: $((W \bowtie X) \bowtie Y) \bowtie Z$

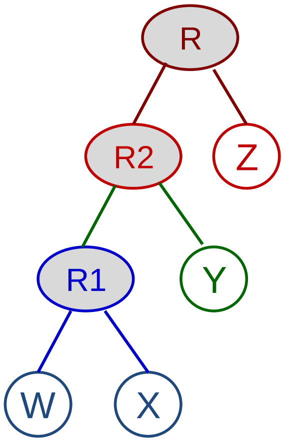
נעריך תחילה את זמן הצירוף ע"י חישוב גדלי תוצאות הביניים

גודל $R1 = W \bowtie X$ : 333 רשומות

גודל $R2 = (W \bowtie X) \bowtie Y$ : 1000 רשומות

מחיר: 333 + 1000 = 1333

# דוגמה מסכמת: תכנון מפורט (1)



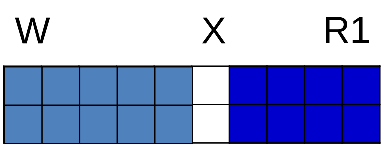

נבצע את R1=W ⋈ X במעבד יחיד.
את רשומות R1 נעביר ישירות לפעולה הבאה.
את R2 = R1 ⋈ Y נבצע ע"י ערבול:
נחלק את R1 לדליים שייכתבו על הדיסק
נחלק את רשומות Y לדליים
נבצע צירוף בין הדליים המתאימים של Y ושל R1;
ונעביר לפעולה הבאה.
את R2 ⋈ Z נבצע גם ע"י ערבול:
נחלק את רשומות R2 לדליים
נחלק את רשומות Z לדליים
נבצע צירוף בין הדליים המתאימים של Z ושל R2
את התוצאה נעביר לפלט.



# דוגמה מסכמת: תכנון מפורט (2)

נניח שהזיכרון יכול להכיל 20 חוצצים בני 10 רשומות כ"א.

במקרה זה ניתן לבצע את R1=W ⋈ X במעבד יחיד:
W דורש 100/10 חוצצים.
נכניס את W לזיכרון ונקרא את X סדרתית (שני חוצצים).
יישאר מקום לעוד 20 – 10 - 2 = 8 חוצצים.
התוצאה תועבר ישירות ל- R1 ⋈ Y מבלי לכתוב אותה על הדיסק.




המחיר: קריאת W: 100/10 = 10 גישות
קריאת X: 200/10 = 20 גישות
סה"כ: 30 גישות

# דוגמה מסכמת: תכנון מפורט (3)

בחישוב $Y \bowtie R1 = R2$, היחסים לא נכנסים לזיכרון, ולכן נשתמש בערבוב

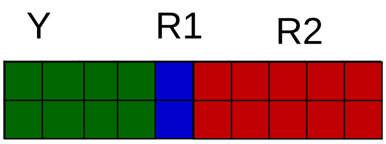
לערבול של R1 אין צורך בחוצצים עבור הקלט. למה?
מהפעולה הקודמת נותרו 8 חוצצים, מספר הדליים $\geq 8/2 = 4$

מחיר חלוקת R1 הוא $333/10 = 34$ גישות דיסק.
לחלוקת Y נזדקק ל- $2\times300/10 = 60$ גישות דיסק נוספות.
הצירוף מחייב את קריאת כל דליי R1 ו-Y, $64 = 30 + 34$ גישות דיסק.
סה"כ: 158 גישות.

לביצוע הצירוף נקרא דלי שלם של Y לזיכרון, $8 = \lceil(300/10)/4\rceil$ חוצצים.

צריך שני חוצצים נוספים כדי לקרוא את הדליים של R1.

— נותרו 10 חוצצים.






# דוגמה מסכמת: תכנון מפורט (4)

לביצוע $Z \bowtie R2$, שוב נשתמש בערבוב.
נחלק את R2 ל-5 דליים, כי נותרו 10 חוצצים.
הכתיבה תדרוש עוד $100 = 1000/10$ גישות.

אחר-כך, נחלק גם את Z ל-5 דליים. דורש $80 = 2\times400/10$ גישות.

נעבור על כל דליי Z:
נקרא כל דלי לזיכרון, ונבצע צירוף עם הדליים המתאימים של R2.
כל דלי של Z מכיל $8 = \lceil 40/5 \rceil$ חוצצים, ונכנס כולו לזיכרון.
נבצע צירוף במעבר יחיד עם הדלי המתאים של R2.

פעולה זו תדרוש את קריאת כל R2 וקריאת Z.
סה"כ $140 = 100 + 40$ גישות.

# דוגמה מסכמת: תכנון מפורט (5)

| סה"כ | |
|---|---|
| חישוב R1 | 30 |
| חישוב R2 | 158 |
| חלוקת R2 | 100 |
| חלוקת Z | 80 |
| ביצוע הצירוף | 140 |
| | 508 גישות דיסק. |

ניתן לבצע הערכה דומה לדרכים אחרות לחישוב הביטוי, ולבחור בניהן.

לתרגול עצמי: בצעו את החישוב עם לולאות מקוננות, ועם גודל זיכרון כפול.



# סיכום

- חלק ניכר מהפעולות על קבצים כיום נעשות באמצעות מסדי נתונים רלציוניים (טבלאיים)
- הגדרת הפעולה במסד הנתונים מנותקת מאלגוריתם המימוש
- המימוש נבחר (אוטומטית) ע"י תכנית query optimizer על סמך הפעולות הדרושות, והערכות של גודלי תוצאות הביניים
- לכל מימוש מעריכים את הזמן הדרוש, ובוחרים את המימוש עם תוחלת הזמן המינימאלית
- אפשר לשנות את המימוש אם מתברר שההנחות לא היו נכונות