אלגברת היחסים

Relational Algebra

1

מודל הנתונים היחסי
(או בקיצור "המודל היחסי")

The Relational Data Model

2

יחס הנו למעשה טבלה

- נוח לייצג נתונים בטבלה
- לדוגמה, הטבלה הבאה מכילה נתונים לגבי מספר סטודנט, שם סטודנט ושנה

שורה בטבלה נקראת *רשומה*

שם של עמודה נקרא *אטריביוט*

sid	sname	year
240	white	3
202	jones	3
450	adams	1

3

מבנה לעומת נתונים

- האטריביוטים (קרי, העמודות) מייצגים את המבנה של הטבלה, שנשאר קבוע
  - הנתונים הנם אודות מס' סטודנט, שם סטודנט ושנה
- הרשומות מכילות נתונים שמשתנים עם הזמן
  - רשומות חדשות מתווספות
  - רשומות קיימות נמחקות או מתעדכנות

4

היבט פורמלי (מתמטי)

- רשומה הנה למעשה n-יה של ערכים
- במתימטיקה שתי n-יות שונות זו מזו אפילו אם רק סדר הערכים שונה, לדוגמה
  - (white,240,3) ≠ (240,white,3)
- אבל ביחסים יש שמות לעמודות ולכן הרשומות הבאות שוות זו לזו

sname	sid	year
white	240	3

=

sid	sname	year
240	white	3

5

הערה

- יש מקרים בהם אין שמות לעמודות ואז ההיבט המתמטי הוא הקובע, כלומר סדר העמודות הנו חשוב
- כשאין אטריביוטים (קרי, שמות לעמודות), מתייחסים למספרי העמודות
  - העמודה השמאלית ביותר היא עמודה 1 וכו'

6

הסכמה של יחס (או של רשומה)

- קבוצת האטריביוטים (שמות העמודות) של יחס נקראת סכמה
- הסכמה של היחס הקודם היא {sid, sname, year}
- סכמה היא קבוצה, כי הסדר של העמודות אינו חשוב ואין שתי עמודות עם אותו שם
- הסכמה מייצגת את המבנה של הטבלה

sid	sname	year
240	white	3
202	jones	3
450	adams	1

שמות הסכמות והיחסים

- לעיתים מוסיפים לסכמה שם (למשל, R)
- שם הסכמה הוא גם השם של היחס עבור הסכמה
- אם אין שתי סכמות אם אותה קבוצה של אטריביוטים, אזי קבוצת האטריביוטים יכולה לשמש גם כשם של הסכמה

יחס הנו קבוצה סופית של רשומות

- פורמלית יחס הנו קבוצה סופית של רשומות
  - לכל הרשומות ביחס יש אותם אטריביוטים
  - במיוחד, לכל הרשומות ביחס יש אותו מספר עמודות
- בשפות שאילתה מעשיות, יחס הוא לא תמיד קבוצה, כי אותה רשומה יכולה להופיע מספר פעמים (כפי שיוסבר בתרגיל לגבי שפת השאילתות SQL)
- באלגברת היחסים, יחס הוא תמיד קבוצה, כלומר כל רשומה מופיעה ביחס פעם אחת בלבד

לסיכום

- יחס הוא קבוצה סופית של רשומות
- לכל הרשומות ביחס יש אותם אטריביוטים
- קבוצת האטריביוטים של היחס נקראת סכמה
- הסכמה מייצגת את המבנה של היחס
  - יש מקרים בהם אין שמות לעמודות ואז סדר העמודות הנו חשוב

אלגברת היחסים

Relational Algebra

אלגברת היחסים

- אלגברת היחסים הנה אוסף של פעולות על יחסים, שבעזרתן ניתן לחשב שאילתות
- התוצאה של כל פעולה הנה יחס
  - לפיכך אפשר לבצע פעולות של אלגברת היחסים על תוצאות של פעולות קודמות, כלומר ניתן ליצור ביטויים מורכבים
- אלגברת היחסים משמשת בסיס פורמלי להגדרתן של שפות שאילתה אחרות

איזה פעולות נרצה לבצע על יחסים?

- פעולות שמבצעים על קבוצות, כגון איחוד, חיתוך והפרש
  - אבל פעולות אלה יבוצעו רק על יחסים שיש להם אותה הסכמה – אחרת התוצאה איננה יחס עם קבוצה קבועה של עמודות
- פעולות שמאפשרות לקבל חלק מהיחס
  - חלק מהעמודות
  - חלק מהרשומות
- פעולות שמאשפרות לצרף רשומות מיחסים שונים

יחסים לדוגמה

R

tid	sid	course
20	202	os
10	450	calculus
20	202	db
20	240	db

S

sid	sname	year
240	white	3
202	jones	3
450	adams	1

T

tid	tname	dept
10	cohen	math
20	levy	cs

S – Students
T – Teachers
R – Students, their courses, and their teachers

הפעולות של אלגברת היחסים

- אלגברת היחסים כוללת את הפעולות הבאות
  - הטלה
  - בחירה
  - מכפלה קרטזית
  - איחוד
  - הפרש
  - ניתן גם להשתמש בפעולה של "שינוי שם"
- פעולות נוספות ניתנות להגדרה בעזרת הפעולות הבסיסיות

הטלה

Projection

הטלה Projection

- פעולת ההטלה הנה אונרית (פועלת על יחס אחד)
- פעולת ההטלה מוחקת חלק מהעמודות
  - רשומות שונות יכולות להיעשות שוות כתוצאה ממחיקת העמודות
  - מכיוון שיחס הוא קבוצה של רשומות, בתוצאה נשאר רק עותק אחד מכל רשומה, ולפיכך מספר הרשומות יכול לקטון
- אופרטור ההטלה מסומן ע"י π ומוסיפים לו כאינדקס את רשימת העמודות בתוצאה

דוגמה של הטלה

- כדי לבצע הטלה של יחס R על העמודות tid ו-course רושמים את הביטוי:

$$\pi_{tid,course}(R)$$

R

tid	sid	course
20	202	os
10	450	calculus
20	202	db
20	240	db

- התוצאה:

tid	course
20	os
10	calculus
20	db

כתיבת שאילתה בעזרת הטלה

- מהם כל הקורסים? $\pi_{course}(R)$

R

tid	sid	course
20	202	os
10	450	calculus
20	202	db
20	240	db

- התוצאה:

course
os
calculus
db

19

בחירה

Selection

20

בחירה Selection

- פעולת הבחירה הנה אונרית (פועלת על יחס אחד)
- פעולת הבחירה בוחרת חלק מן הרשומות
- בתוצאה יש בדרך כלל (אבל לא תמיד) פחות רשומות מאשר ביחס המקורי
- כל רשומה בתוצאה זהה לאחת הרשומות מהיחס המקורי
- אופרטור הבחירה מסומן ע"י σ ומסיפים לו כאינדקס את התנאי לפיו מתבצעת הבחירה

21

דוגמה של בחירה

- כדי לבחור מהיחס R את כל הרשומות של המורה שה- id שלו הוא 20, רושמים את הביטוי: $\sigma_{tid=20}(R)$

R

tid	sid	course
20	202	os
10	450	calculus
20	202	db
20	240	db

- התוצאה:

tid	sid	course
20	202	os
20	202	db
20	240	db

22

שילוב של הטלה ובחירה

- הביטוי הבא מחשב את רשימת הקורסים שמלמד המורה שה- id שלו הוא 20

$$\pi_{course}(\sigma_{tid=20}(R))$$

R

tid	sid	course
20	202	os
10	450	calculus
20	202	db
20	240	db

- התוצאה:

course
os
db

23

דוגמה נוספת

- מהם שמות הסטודנטים בשנה שלישית?

$$\pi_{sname}(\sigma_{year=3}(S))$$

S

sid	sname	year
240	white	3
202	jones	3
450	adams	1

- התוצאה:

sname
white
Jones

24

התנאים שניתן להשתמש בהם בפעולת הבחירה

The Conditions that
Can Be Used in Selections

25

התנאי של פעולת הבחירה

- הצורה הכללית של פעולת הבחירה הנה σ_C, כאשר C הנו התנאי
- התנאי מורכב מהשוואות שמקושרות ע"י פעולות לוגיות של $\vee$ ו- $\wedge$ (אין צורך בשלילה)
- השוואה היא מהצורה
  - *attribute1* op *attribute2* או
  - *attribute1* op *constant*

26

פעולות ההשוואה

- פעולות ההשוואה (op) הן

$<,\ \leq,\ >,\ \geq,\ =,\ \neq$

  - שלילה אפשר לבטא ע"י היפוך ההשוואה
- אם הקבוע מורכב מאותיות (char string), אזי רושמים אותו בין צמד גרשיים, לדוגמה

$$\sigma_{tname='cohen'}(T)$$

27

הערה

- באלגברה הטהורה אין פעולות אריתמטיות או פעולות אחרות, כגון substring, אבל בשפות שאילתה מעשיות יש פעולות כאלה
- לכן בשפות שאילתה מעשיות (אבל לא באלגברה) אפשר לכתוב גם תנאים מהצורה

$$A < B + C$$

28

דוגמה

- מהם ה- id של הסטודנטים ששמם הוא jones והם לומדים בשנה ראשונה או שלישית?

$$\pi_{sid}(\sigma_{sname='jones'\wedge(year=1\vee year=3)}(S))$$

S

sid	sname	year
240	white	3
202	jones	3
450	adams	1

- התוצאה:

sid
202

29

נניח שהיחס S השתנה

- מהם ה- id של הסטודנטים ששמם הוא jones והם לומדים בשנה ראשונה או שלישית?

$$\pi_{sid}(\sigma_{sname='jones'\wedge(year=1\vee year=3)}(S))$$

S

sid	sname	year
240	white	3
202	jones	3
450	jones	1

- התוצאה:

sid
202
450

30

מכפלה קרטזית

Cartesian Product
(Cross Product)

31

מכפלה קרטזית Cross Product

- מכפלה קרטזית היא פעולה בינארית, שמסומנת ע"י $\times$, והיא מחברת כל רשומה של יחס אחד עם כל רשומה של היחס השני
- מספר העמודות בתוצאה שווה לסכום מספרי העמודות ביחסים המקוריים
- מספר הרשומות בתוצאה שווה למכפלת מספרי הרשומות ביחסים המקוריים

32

יחסים לדוגמה (שנית)

R

tid	sid	course
20	202	os
10	450	calculus
20	202	db
20	240	db

S

sid	sname	year
240	white	3
202	jones	3
450	adams	1

T

tid	tname	dept
10	cohen	math
20	levy	cs

S – Students
T – Teachers
R – Students, their courses, and their teachers

33

$R \times T$

(tid)	sid	course	(tid)	tname	dept
20	202	os	10	cohen	math
10	450	calculus	10	cohen	math
20	202	db	10	cohen	math
20	240	db	10	cohen	math
20	202	os	20	levy	cs
10	450	calculus	20	levy	cs
20	202	db	20	levy	cs
20	240	db	20	levy	cs

34

הצירוף הטבעי R ⋈ T

TheNatural Join R ⋈ T

36

$R \times T$

(tid)	sid	course	(tid)	tname	dept

סכמת התוצאה היא איחוד הסכמות של היחסים המקוריים.

מכיוון שלשתי הסכמות המקוריות יכולים להיות אטריביוטים משותפים, חייבים לשנות את שמות האטריביוטים האלה.

בדוגמה, המופעים של האטריביוט המשותף מוקפים ע"י סוגריים, כדי לציין שלמעשה יש בעיה עם השמות האלה.

דרך אחת לפתור את הבעיה היא להוסיף את שם היחס המקורי לשם האטריביוט, כלומר העמודה השמאלית נקראת R.tid והעמודה הרביעית משמאל נקראת T.tid

מדוע יש צורך בצירוף טבעי?

- מכפלה קרטזית לבדה אינה יוצרת תוצאה משמעותית במיוחד
- יש לבצע גם בחירה (ואולי גם הטלה), כדי לקבל תוצאה משמעותית
- הצירוף הטבעי הוא שילוב של מכפלה קרטזית, בחירה והטלה

37

הגדרת הצירוף הטבעי

- הצירוף הטבעי כולל שלושה שלבים:
  - מכפלה קרטזית
  - בחירת רשומות מתוך המכפלה הקרטזית ששוות על האטריביוטים המשותפים של שני היחסים
  - ביצוע הטלה כך שנשאר רק עותק אחד של כל עמודה משותפת
    - לפיכך, אין עמודות כפולות עם אותו שם בתוצאה של הצירוף הטבעי

38

דוגמה לחישוב הצירוף הטבעי
$R \bowtie T$

39

מצרפים רשומה מ- R עם רשומה מ- T בתנאי שהרשומות שוות על האטריביוטים המשותפים

(tid)	sid	course	(tid)	tname	dept
20	202	os	10	cohen	math
10	450	calculus	10	cohen	math
20	202	db	10	cohen	math
20	240	db	10	cohen	math
20	202	os	20	levy	cs
10	450	calculus	20	levy	cs
20	202	db	20	levy	cs
20	240	db	20	levy	cs

התוצאה

(tid)	sid	course	(tid)	tname	dept
10	450	calculus	10	cohen	math
20	202	os	20	levy	cs
20	202	db	20	levy	cs
20	240	db	20	levy	cs

$R \bowtie T = \pi_{R.tid,sid,course,tname,dept}\sigma_{R.tid=T.tid}\ (R \times T)$

41

מוחקים עותקים כפולים של עמודות

(tid)	sid	course	(tid)	tname	dept
10	450	calculus	10	cohen	math
20	202	os	20	levy	cs
20	202	db	20	levy	cs
20	240	db	20	levy	cs

$R \bowtie T = \pi_{R.tid,sid,course,tname,dept}\sigma_{R.tid=T.tid}\ (R \times T)$

42

התוצאה היא הצירוף הטבעי

$R \bowtie T$

tid	sid	course	tname	dept
10	450	calculus	cohen	math
20	202	os	levy	cs
20	202	db	levy	cs
20	240	db	levy	cs

$R \bowtie T = \pi_{R.tid,sid,course,tname,dept}\sigma_{R.tid=T.tid}\ (R \times T)$

דוגמאות לחישוב שאילתות בעזרת צירוף טבעי

מה שמות המורים שמלמדים את הסטודנט המזוהה ע"י sid=202?

R

tid	sid	course
20	202	os
10	450	calculus
20	202	db
20	240	db

S

sid	sname	year
240	white	3
202	jones	3
450	adams	1

T

tid	tname	dept
10	cohen	math
20	levy	cs

$\pi_{tname}\sigma_{sid='202'}\ (R \bowtie T)$

מהן שנות הלימוד של סטודנטים שמלמד לוי?

R

tid	sid	course
20	202	os
10	450	calculus
20	202	db
20	240	db

S

sid	sname	year
240	white	3
202	jones	3
450	adams	1

T

tid	tname	dept
10	cohen	math
20	levy	cs

$\pi_{year}\sigma_{tname='levy'}\ (S \bowtie R \bowtie T)$

איחוד

Union

Union איחוד

- יחסים הנם קבוצות וניתן לאחד אותם, בתנאי שהם *תואמים*, כלומר:
  - לשני היחסים אותה קבוצה של אטריביוטים, ובנוסף
  - עמודות בעלות אותו אטריביוט הנן בעלות אותו type (תנאי זה משמעותי אם הוגדר type לכל אטריביוט)
- אם לא מתייחסים לאטריביוטים (או שאין אטריביוטים), אז התנאים הנם:
  - לשני היחסים אותו מספר עמודות, ובנוסף
  - עמודות בעלות אותו מיקום הנן בעלות אותו type (אם הוגדר type)

דוגמה

$S \cup G$

sid	sname	year
240	white	3
202	jones	3
701	katz	1
820	sapir	2
450	adams	1

S

sid	sname	year
240	white	3
202	jones	3
450	adams	1

G

sid	sname	year
701	katz	1
202	jones	3
820	sapir	2

49

הפרש

Difference

50

Difference הפרש

- יחסים הנם קבוצות ולכן ניתן לבצע פעולת הפרש בין יחסים, בתנאי שהם תואמים, כפי שהוגדר במקרה של פעולת האיחוד

51

דוגמה

$S - G$

sid	sname	year
240	white	3
450	adams	1

S

sid	sname	year
240	white	3
202	jones	3
450	adams	1

G

sid	sname	year
701	katz	1
202	jones	3
820	sapir	2

52

חיתוך

Intersection

53

Intersection חיתוך

- באופן דומה ניתן להגדיר חיתוך של יחסים
- אבל למעשה פעולת החיתוך ניתנת לביטוי בעזרת פעולות אחרות

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

54

דוגמה

$S \bigcap G$

sid	sname	year
202	jones	3

S

sid	sname	year
240	white	3
202	jones	3
450	adams	1

G

sid	sname	year
701	katz	1
202	jones	3
820	sapir	2

שימוש במספרי עמודות במקום אטריביוטים

Using Column Numbers
Instead of Attribtues

מדוע יש צורך להשתמש במספרי עמודות?

- **לעיתים השימוש באטריביוטים הוא בעייתי**
  - למשל, מכפלה קרטזית עלולה ליצור עמודות שונות עם אותם אטריביוטים
- **לפיכך, ניתן להתייחס למספרי עמודות**
  - העמדה השמאלית ביותר היא הראשונה וכו'
- **ניתן להתייחס למספרי עמודות בכל שלב, כלומר ניתן לכתוב ביטוי שחלק מפעולותיו מתייחסות למספרי עמודות בעוד שפעולות אחרות מתייחסות לאטריביוטים**

דוגמה

- במכפלה הקרטזית של R ו- T, אפשר למחוק את אחת משתי העמודות בעלות אותו השם ע"י הפעולה הבאה

$$\pi_{1,2,3,5,6}(R \times T)$$

- בפעולת ההטלה (המופיעה לעיל) מתייחסים למיקום העמודות ולא לשמותיהן (עמודה 1 היא השמאלית ביותר)
- התוצאה של ההטלה היא יחס עם סכמה מוגדרת היטב (קרי, אין שתי עמודות עם אותו שם)

$R \times T$

(tid)	sid	course	(tid)	tname	dept
20	202	os	10	cohen	math
10	450	calculus	10	cohen	math
20	202	db	10	cohen	math
20	240	db	10	cohen	math
20	202	os	20	levy	cs
10	450	calculus	20	levy	cs
20	202	db	20	levy	cs
20	240	db	20	levy	cs

$\pi_{1,2,3,5,6}(R \times T)$

tid	sid	course	tname	dept
20	202	os	cohen	math
10	450	calculus	cohen	math
20	202	db	cohen	math
20	240	db	cohen	math
20	202	os	levy	cs
10	450	calculus	levy	cs
20	202	db	levy	cs
20	240	db	levy	cs

דוגמה נוספת

- ניתן לבטא את הצירוף הטבעי של R ו- T באופן הבא

$$\pi_{1,2,3,5,6}(\sigma_{1=4}(R\times T))$$

- גם התוצאה במקרה הזה הנה סכמה מוגדרת היטב

$$\pi_{1,2,3,5,6}(\sigma_{1=4}(R\times T))$$

tid	sid	course	tname	dept
10	450	calculus	cohen	math
20	202	os	levy	cs
20	202	db	levy	cs
20	240	db	levy	cs

הערה

- אם בפעולת הבחירה משתמשים במספרי עמודות, אז צריך לסמן קבועים ע"י גרשיים
- השוואת עמודות 1 ו- 4: $\sigma_{1=4}(R\times T)$
- השוואת עמודה 1 לקבוע: $\sigma_{1='4'}(R\times T)$
- לחלופין, לפעמים נהוג לסמן עמודות ע"י $1, $4 וכד' (ואז אין צורך לסמן קבועים בעזרת גרשיים), לדוגמה: $\sigma_{\$1=\$4}(R\times T)$

$\sigma_{\$1=4}(R\times T)$

שינוי שם

Renaming

מהו שינוי שם?

- פעולת שינוי שם מאפשרת לשנות את שמות האטריביוטים ושם הסכמה (כלומר, שם היחס) של התוצאה
- היא נחוצה כאשר מבצעים מכפלה קרטזית, אבל אפשר להשתמש בה גם במקרים אחרים

שינוי שם Renaming

- הפעולה מסומנת ע"י ρ
- לדוגמה, נרשום את הביטוי

$$\rho(P(1\to tid1, 4\to tid2), R\times T)$$

- ביטוי זה יוצר את המכפלה הקרטזית $R\times T$ ונותן לתוצאה את הסכמה:

P(tid1,sid,course,tid2,tname,dept)

  - שם הסכמה של התוצאה הוא P ובסוגריים מצוינים שמות האטריביוטים
  - הערה: שם הסכמה הוא שם היחס

צירוף

Join

67

צירוף Join

- פעולת הצירוף היא למעשה שילוב של מכפלה קרטזית ובחירה (ובמקרים מסוימים גם הטלה)
- שלושה סוגים
  - condition join או theta join (הכללי ביותר)
  - equi-join (שתי גרסאות)
  - natural join (צירוף טבעי – הוגדר כבר קודם)

68

צירוף מותנה Condition Join

- צירוף מותנה הנו פעולה מהצורה הבאה

$$R \bowtie_c S$$

  - C הנו ביטוי המורכב מפעולות לוגיות ($\wedge, \vee$) ומהשוואות מהצורה: $R.A \theta S.B$
  - כלומר כל השוואה היא בין אטריביוט כלשהו A של R לבין אטריביוט כלשהו B של S
  - θ מסמן את אחד מששת האופרטורים של ההשוואה, קרי $<, \leq, >, \geq, =, \neq$
- ההגדרה: $R \bowtie_c S = \sigma_{c'}(R \times S)$

69

הסבר להגדרה

- ההגדרה: $R \bowtie_c S = \sigma_{c'}(R \times S)$
- מדוע התנאי המקורי (בצירוף המותנה) הוא C, בעוד שבהגדרת הצירוף (באגף ימין של השוויון) התנאי הוא C'?
- אם ב-C מופיעה ההשוואה $R.A \theta S.B$
- אז ב-C' צריכה להופיע ההשוואה $i \theta k$
  - i הוא המיקום של העמודה A ב-R
  - $k=j+n$, כאשר j הוא המיקום של העמודה B ב-S ו-n הוא מספר העמודות ב-R

70

$R \bowtie_{R.tid=S.tid} T =$

$$\sigma_{1=4}(R \times T)$$

(tid)	sid	course	(tid)	tname	dept
10	450	calculus	10	cohen	math
20	202	os	20	levy	cs
20	202	db	20	levy	cs
20	240	db	20	levy	cs

71

ההגדרה הנפוצה של Equi-Join

- צירוף שיוויון הנו פעולה מהצורה הבאה

$$R \bowtie_c S$$

  - כאשר C הנו גימום (קוניונקציה) של השוואות מהצורה: $R.A = S.B$
  - כלומר, כל השוואה היא שוויון בין אטריביוט כלשהו A של R לבין אטריביוט כלשהו B של S
- ההגדרה: $R \bowtie_c S = \sigma_{c'}(R \times S)$

72

ההגדרה של Equi-Join בספר של Ramakrishnan

- צירוף שוויון הנו פעולה מהצורה הבאה
  $R \bowtie_c S$
  - כאשר C הוא גימום (קוניונקציה) של השוואות מהצורה: $R.A = S.A$
  - $R.A$ מציין אטריביוט A של R, ו-$S.A$ מציין אטריביוט A של S (לשני האטריביוטים אותו השם)
- ההגדרה: $R \bowtie_c S = \pi_L(\sigma_{C'}(R \times S))$

הסבר להגדרה

- ההגדרה: $R \bowtie_c S = \pi_L(\sigma_{C'}(R \times S))$
- הקשר בין C לבין C' הוא כמו בהסבר הקודם
- L כוללת רק עותק אחד (קרי, עמודה אחת) מכל זוג אטריביוטים שמושווים ב-C; בנוסף, L כוללת את כל האטריביוטים האחרים (קרי, אלה שלא מופיעים בתנאי C של הצירוף)

דרך נוספת לסימון Equi-Join (לפי הספר)

- צירוף שוויון אפשר גם לרשום בצורה הבאה: $R \bowtie_L S$
  - L הוא רשימת האטריביוטים שמופיעים בתנאי C; כלומר, אם אטריביוט A מופיע ברשימה L, אז התנאי C של הצירוף כולל את ההשוואה $R.A = S.A$

צירוף טבעי Natural Join

- אם ברשימה L מופיעים כל האטריביוטים המשותפים ל- R ול- S, אז הפעולה נקראת natural join, ורושמים אותה ללא שום אינדקס: $R \bowtie S$
- כלומר, בצירוף טבעי משווים את כל זוגות האטריביוטים המשותפים ל-R ול-S ומשאירים רק עותק אחד מכל זוג עמודות שהושוו

ספרים

- ספר של Raghu Ramakrishnan
  - ההרצאה היא בדרך כלל לפי הספר הזה
- ספר של Ullman
  - הנושא של "תיאוריה לתכנון סכמות" (שעליו נתחיל לדבר בשבוע הבא) הוא לפי הספר הזה