

# מכרזים כאלגוריתמים

# Auctions as Algorithms

ד"ר ענבל טלגם-כהן  
מפגש מצטיינים 2020



**The  
Guardian**

# הקשר המפתיע בין פרס הנובל בכלכלה למדעי המחשב

- הפרס הוענק באוקטובר השנה ל- Myerson & Wilson
- אחד ההישגים הגדולים: **מכרז ענק לחלוקה מחדש של תדרי רדיו בארה"ב**
- מכרזים כאלה מתקיימים גם בארץ

**גלובס** דור 5 בסלולר

## הסתיים מכרז התדרים: קבוצת סלקום תשלם 115 מיליון שקל, כפול מפרטנר-הוט

הסכום המצרפי שהחברות תשלמנה יעמוד על 265 מיליון שקל • פלאפון תשלם 88 מיליון שקל ופרטנר והוט-מובייל ישלמו 62 מיליון שקל • שר התקשורת יועז הנדל: "פרישת דור 5 במדינת ישראל תאפשר בין היתר לייצר מנועי צמיחה ותוביל לקידום התעשייה"

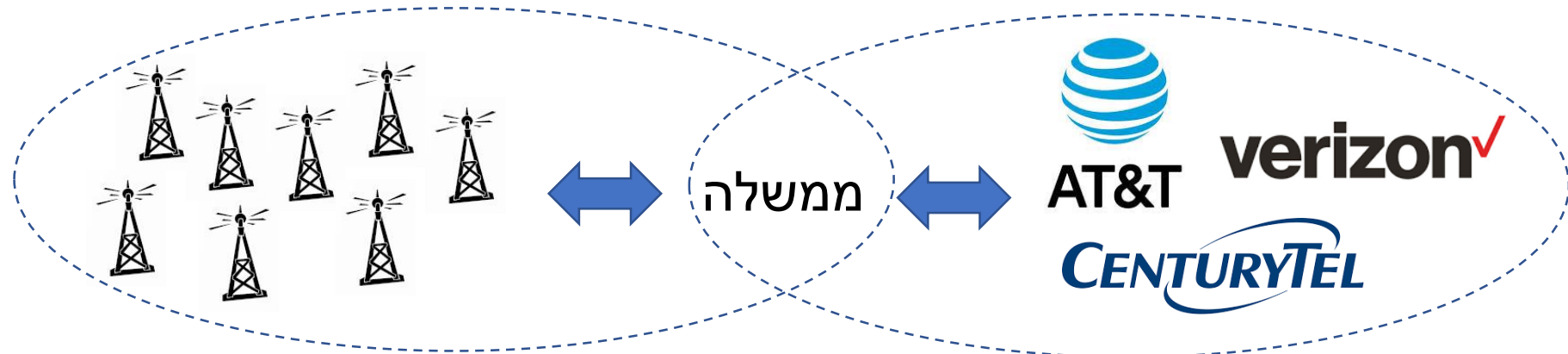
---

    | 

גד פרץ | עודכן: 12.08.2020, 23:27

# המכרז לחלוקה מחדש של תדרים Incentive Auction

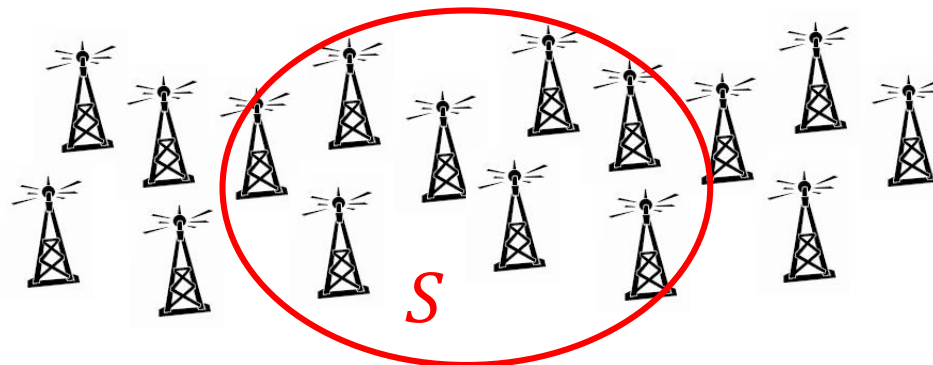
- בארה"ב, חלק חשוב של הספקטרום נמכר בעבר לתחנות טלוויזיה מקומיות
- זה הצריך מכרז עם שני חלקים:
  1. קניית תדרים מתחנות הטלוויזיה (הוצאה: כ- 10 מיליארד \$)
  2. מכירת התדרים שהתפנו לחברות תקשורת סלולרית (הכנסה: כ- 20 מיליארד \$)



הישג זה לא היה מתאפשר בלי מחקר במדעי המחשב!

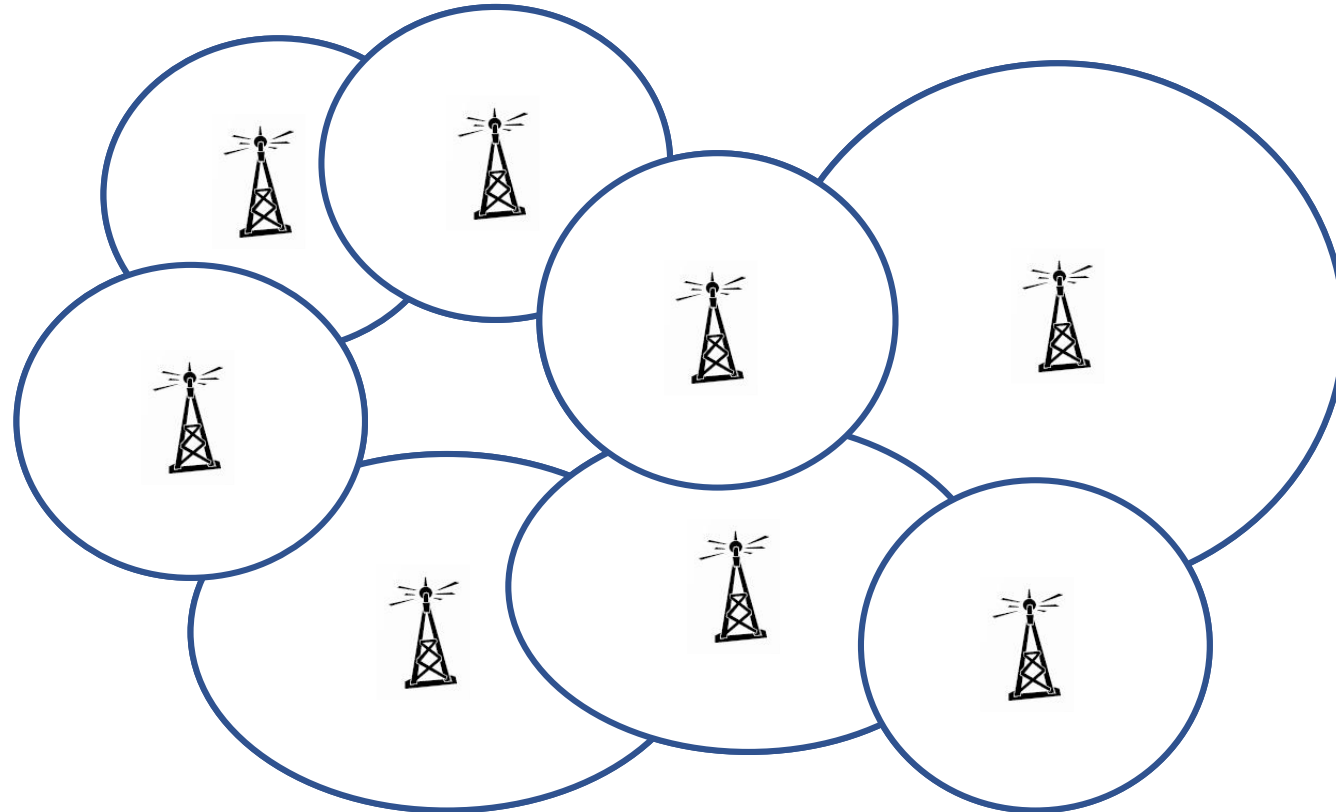
# מה הקשר למדעי המחשב?

- נתמקד בחלק הראשון (קניית התדרים)
- נניח שההצעה הנוכחית של הממשלה היא  $\$1M$  לתחנה כדי לרדת מהאוויר, ושהמטרה היא לפנות  $10$  מ- $13$  רצועות תדר
- הרבה תחנות מוכנות למכור תמורת  $\$1M$ , אבל יש קבוצת תחנות  $S$  שלא מוכנות
- השאלה החישובית: האם ניתן **לארוז מחדש** את תחנות  $S$  ב- $3$  רצועות?  
• אם כן, הממשלה יכולה להציע פחות כסף (לטובת משלמי המסים!)



# בעיית האריזה מחדש Repacking Problem

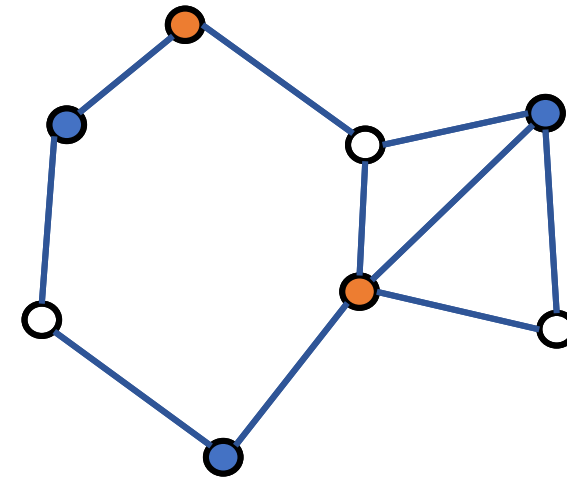
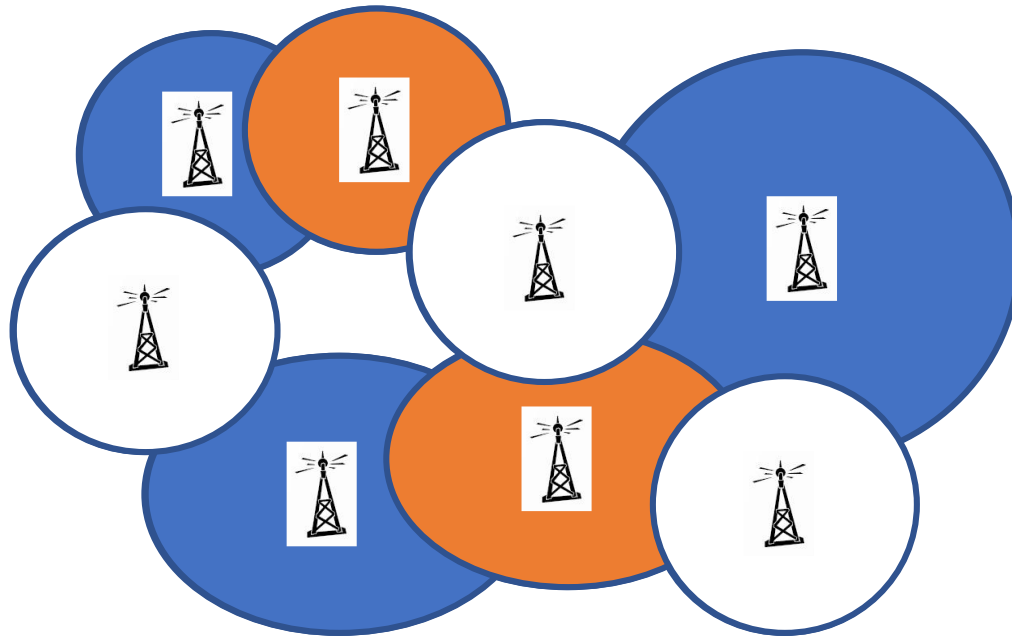
קלט: נתונה קבוצת תחנות  $S$  והחפיפות ביניהן (חפיפה מייצגת הפרעה)



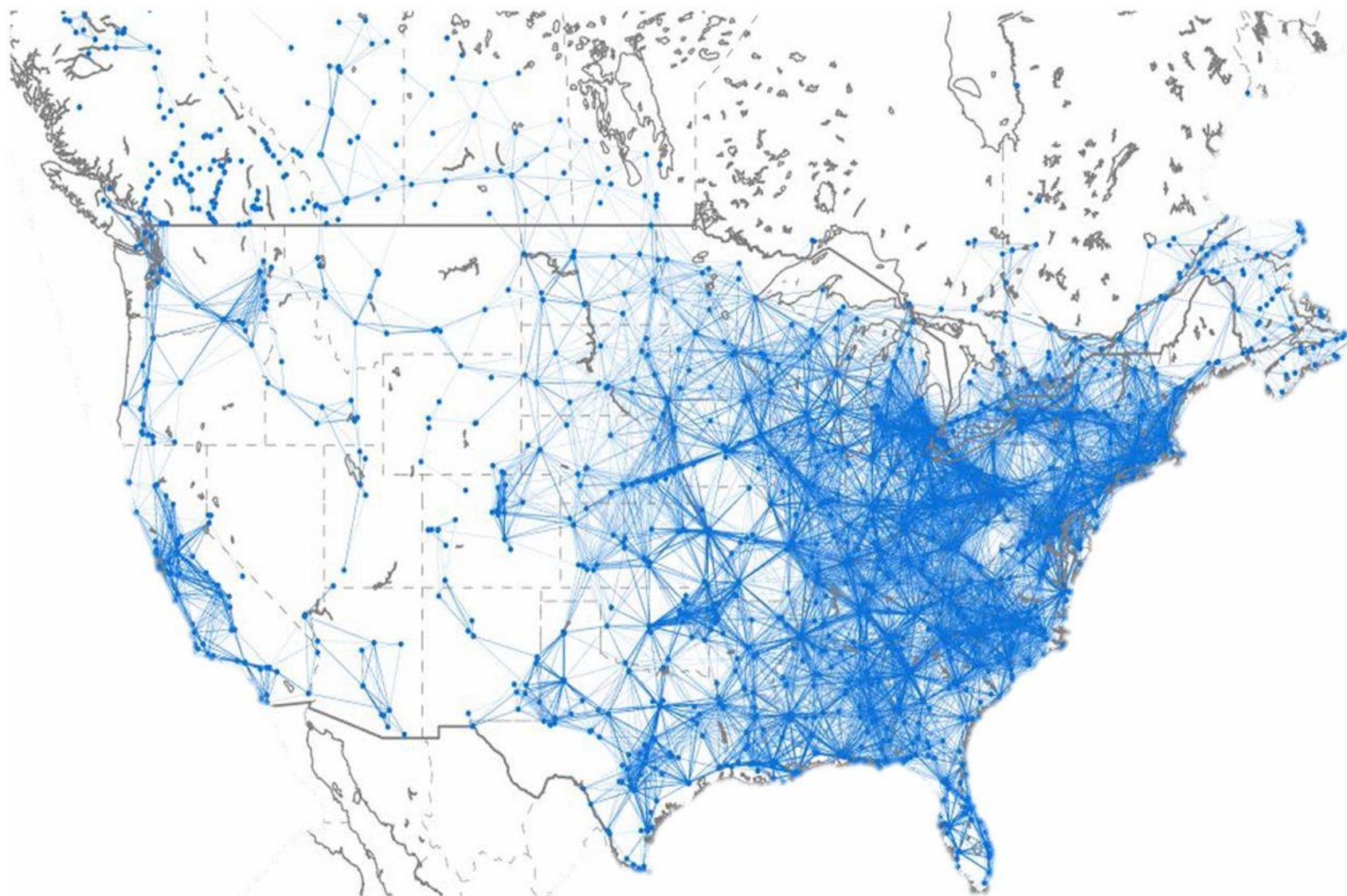
פלט: השמה חוקית של התחנות ל-3 רצועות (אם יש כזו)

# בעיית האריזה מחדש היא NP-שלמה

- בעיה זו שקולה לבעיית צביעה של גרף במספר נתון של צבעים, כך ששני קודקודים סמוכים אינם צבועים באותו צבע



# ויזואליזציה של גרף האילוצים האמיתי





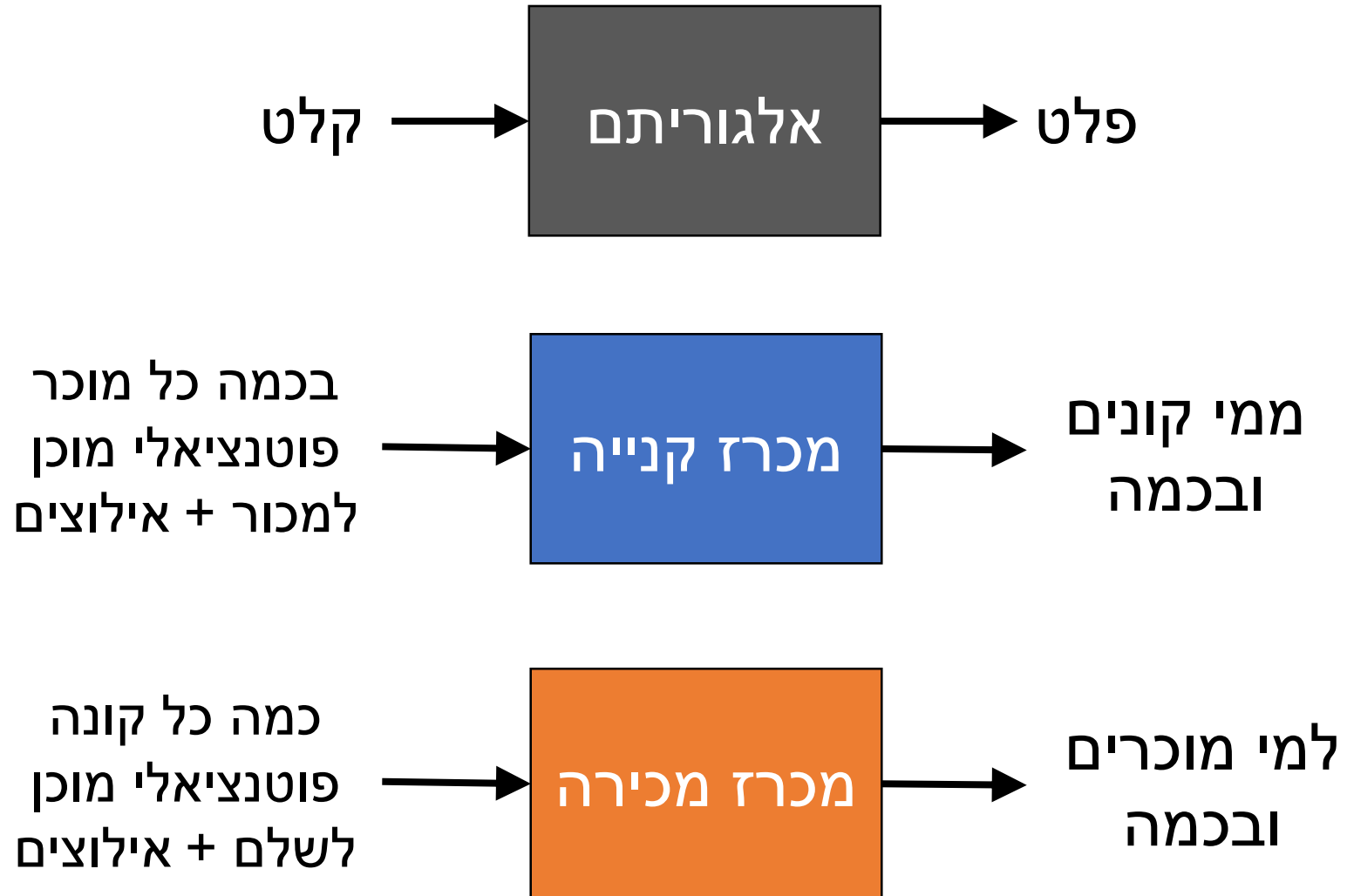
# בזכות הבנת הפן החישובי...

- ניתן לעשות רדוקציה מבעיית האריזה מחדש לבעיית SAT גדולה
- כעת אפשר להפעיל אלגוריתמים מתוחכמים שנקראים SAT solvers
- זמן הריצה מאוד גבוה במקרים מסוימים, אך מקרה "טיפוסי" נפתר תוך שניות

שורה תחתונה: בלי טכניקות מחזית המחקר במדעי המחשב, לא ניתן היה להוציא לפועל את המכרז שהוביל לנובל

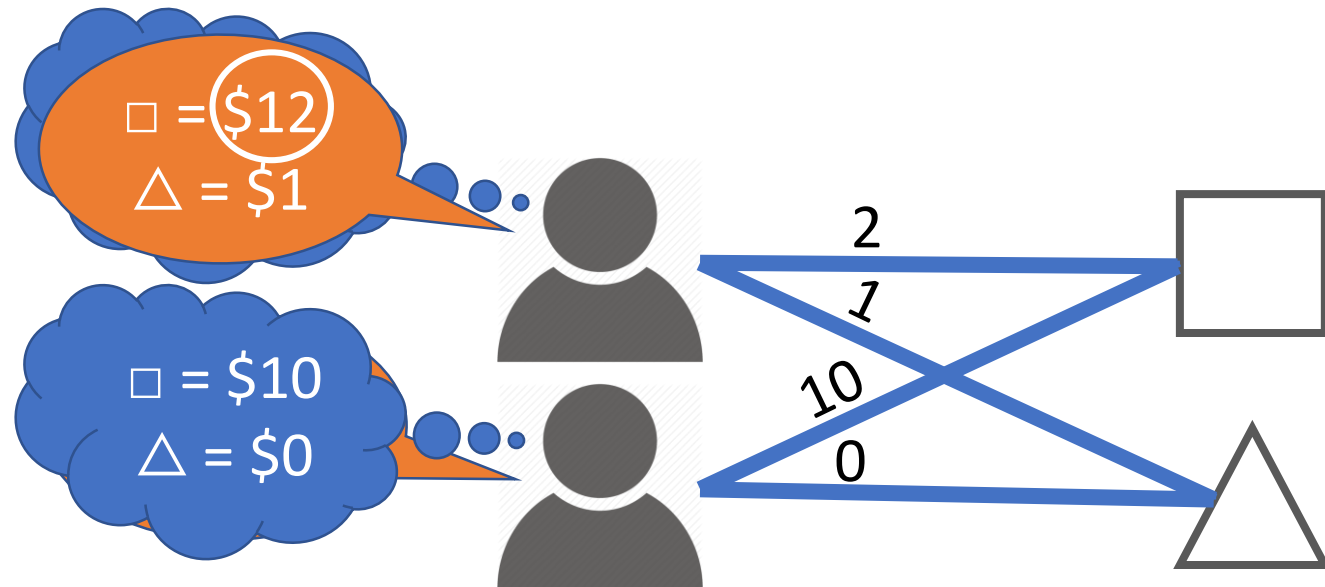
תחום המחקר שלי:  
תורת המשחקים החישובית

# מכרז כאלגוריתם



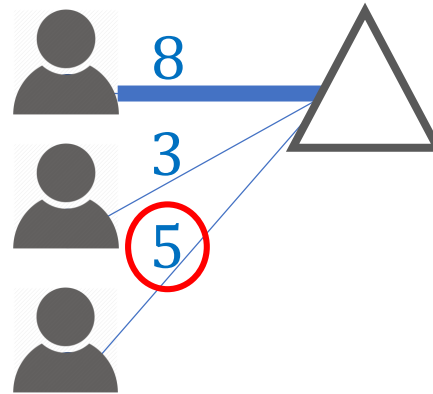
# מכרז כאלגוריתם שצריך להתמודד עם אי-אמירת אמת

- מכרז מכירה בו צריך למצוא matching אופטימלי בין הקונים למוצרים:



# איך להתמודד עם אי-אמירת אמת?

- פתרון קלאסי מכלכלה: **לגבות תשלום** שהופך את אמירת האמת למשתלמת
- **דוגמא פשוטה**: "מכרז מחיר שני"
- **התשלום** נקבע לפי ההצעה **השנייה בגובהה**

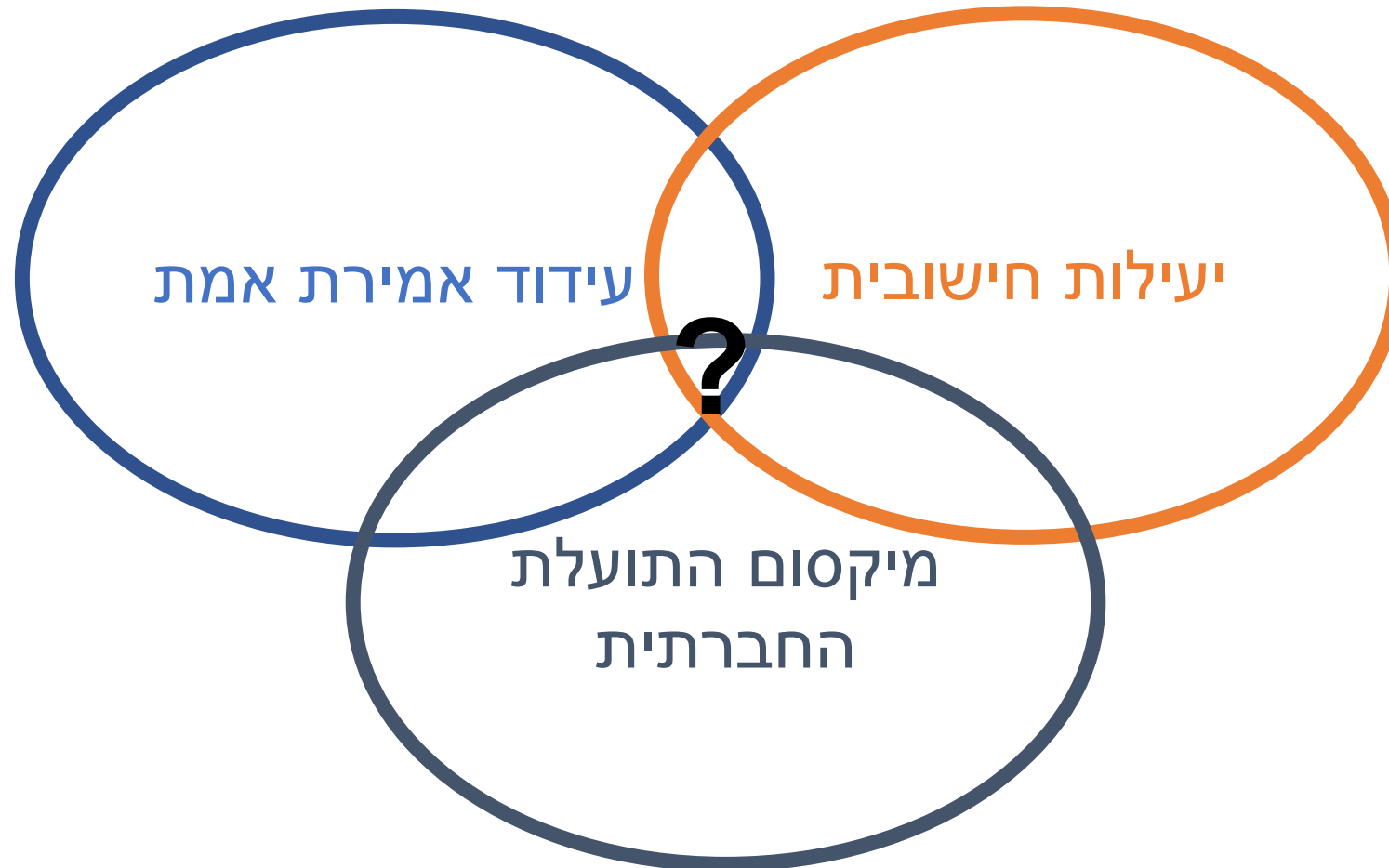


- ב"מכרז מחיר שני" אין תמריץ לשקר (תרגיל...)

# הזווית החישובית של אי-אמירת אמת

- הפתרון הקלאסי מכלכלה ("מכרז מחיר שני" והכללותיו) עובד במכרזים בהם צריך לפתור בעיה חישובית קלה, למשל **matching**
- כאשר צריך לפתור בעיה חישובית קשה, למשל בעיית אריזה, הפתרון הקלאסי נכשל כישלון חרוץ
- זאת, אפילו אם יש קירוב מצוין לבעיה (FPTAS)!

# שאלת מחקר לדוגמא



# איפה עוזר מחקר כזה בתעשייה?

 •

• מכרזים למכירת פרסומות

 •

• אלגוריתמי תמחור

 •

• matching בין נהגים לנוסעים

 •

• הקצאת משאבי ענן

 •

• תמריצים לנהגים



# למה דווקא בטכניון?

Yuval Ishai, Prof.



Phone: +972 4 829 4941  
Office: 525  
Research Interests:  
Cryptography, Complexity Theory

Keren Censor-Hillel, Prof.



Phone: +972 4 829 4934  
Office: 516  
Research Interests:  
Distributed Computing, especially  
Probabilistic Algorithms and Lower  
Bounds, and Theory of Computing in  
General

Eyal Kushilevitz, Prof.



Phone: +972 4 829 4303  
Office: 530  
Research Interests:  
Cryptography, Machine learning,  
Computational complexity and  
Communication complexity,  
Randomized distributed protocols

Ron Rothblum, Prof.



Phone: +972 4 829 5658  
Office: 523  
Research Interests:  
Cryptography, Complexity Theory

Seffi Naor, Prof.



Phone: +972 4 829 4328  
Office: 633  
Research Interests:  
Theory of algorithms and applications;  
Randomness and computation. Specific:  
Approximation and on-line algorithms;  
Combinatorial optimization;  
Randomized algorithms;  
Communication networks; Parallel  
computation

Inbal Talgam-Cohen, Prof.



Phone: +972 4 829 4935  
Office: 518  
Research Interests:  
Algorithmic game theory, Theory of  
computation; Optimization; Internet  
economics, Market design; Auctions

Yuval Filmus, Prof.



Phone: +972 4 829 4876  
Office: 519  
Research Interests:  
Computational complexity, Proof  
complexity, Analysis of Boolean  
Functions, Combinatorics

Eldor Fischer, Prof.



Phone: +972 4 829 3967  
Office: 625  
Research Interests:  
Property testing, PCPs, Graph Theory  
(especially Regularity), Logic in  
Computer Science

Hadas Shochnoi, Prof.



Phone: 04-829-4359  
Office: 623  
Research Interests:  
Design and analysis of algorithms for  
combinatorial optimization problems,  
in particular, algorithms for packing,  
scheduling and resource allocation  
problems arising in information and  
communication services;  
parameterized algorithms and their  
usage in approximation; randomized  
algorithms; parallel computation

Roy Schwartz, Prof.



Phone: +972 4 829 4887  
Office: 521  
Research Interests:  
Design and analysis of algorithms,  
combinatorial optimization,  
approximation algorithms, the  
geometry of metric spaces and its  
applications, submodular optimization,  
and randomized algorithms

• קבוצת תיאוריה חזקה

• קבוצת תורת המשחקים חזקה

• Societal computing / ML

<https://theory.cs.technion.ac.il/>

# לסיכום

למה כיף לעשות מחקר בתורת המשחקים החישובית בטכניון?

- ✓ מתמודדים עם אתגרים אלגוריתמיים "עם טוויסט"
- ✓ מבינים ומשפרים את הכלכלה באמצעות חישוביות
- ✓ משתפים פעולה עם חוקרים מדיסציפלינות אחרות ומהתעשייה

... all in a day's work!

תודה על ההקשבה! שאלות?