

טכניון – הפקולטה להנדסת חשמל

מערכות לומדות (046195)

סימסטר חורף תשע"ז

מרצה: פרופ' נחום שימקין

נושא קורס – Machine Learning

- הגדרה ראשונית:
הקניית יכולת שיפור אוטומטי של ביצועי המחשב
במשימות מורכבות.
- מינוח בעברית:
 - למידת מכונה \ למידה ממוכנת
 - למידה ממוחשבת \ למידה חישובית

מהי למידה?

■ הגדרה מילונית:
למידה: רכישת ידע, הבנה או יכולת באמצעות ניסיון או לימוד (study).

■ הגדרה אופרטיבית יותר (לפי H. Simon, 1983):
מערכת לומדת: מערכת אשר משפרת את ביצועיה בביצוע משימה נתונה ככל שהיא מבצעת משימה זו.

ההגדרה האחרונה מתאימה לאופן למידה מסויים: **למידה** תוך כדי עשייה. אנו נתייחס בקורס לאופני למידה נוספים, ובמיוחד **למידה באמצעות דוגמאות נתונות**.

3

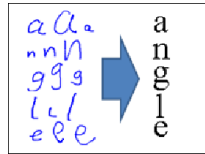
למידה – ניסיון להגדרה פורמאלית

■ **סוכן** – גורם החש את העולם ופועל עליו
■ **ניסיון** – סדרת פעולות ומדידות

■ **למידה** – נאמר כי סוכן **לומד** מניסיון **E** ביחס למטלה **T** ומידת ביצועים **P**, אם:
ביצועיו במטלה זו, כפי שנמדדים ע"י **P**, **משתפרים** עם הניסיון **E**.

4

דוגמאות למרכיבי הלמידה



זיהוי אותיות בכתב יד:

- T סיווג אותיות
- E דוגמאות של אותיות מסווגות
- P הסתברות השגיאה



משחקים:

- T משחק נתון מול יריב אקראי
- E היסטורית משחקים של הסוכן
- P אחוז הנצחונות



נהיגה אוטונומית:

- T נהיגה על כביש בעזרת חיישני ראייה
- E נהיגה מוקלטת של נהג אנושי
- P המרחק שעבר הרכב עד לתקלה

5

למידה במערכות ביולוגיות

- מערכות ביולוגיות נסמכות על תהליכי למידה לצורך פיתוח יכולות בסיסיות והסתגלות לסביבה משתנה.

- ניתן להבחין ברמות שונות של לימוד והסתגלות:

- רמה גנטית (אבולוציה)
- רמה תאית (אימונולוגיה וכו')
- רמה נוירולוגית (למידה מוטורית, למידה קוגניטיבית).
- למידה חברתית (תרבות)

6

למידה אנושית

- דוגמאות ללמידה אנושית (ברמת הפרט):
 - רכישת יכולות מוטוריות:
הליכה, רכיבה על אופניים, כתיבה, משחק טניס
 - עיבוד וניתוח מידע חושי:
זיהוי חפצים, זיהוי פנים, חיזוי מסלול
 - לימוד קוגניטיבי:
רכישת שפה, משחק שח, לימוד מתמטיקה

7

נחזור ללמידה חישובית...

- שימוש במידע קיים (דוגמאות) ו/או מידע נרכש תוך אינטראקציה עם הסביבה, לצורך שיפור אוטומטי של ביצועי המחשב בביצוע פעולות מורכבות.

8

למידה חישובית לעומת "אלגוריתם קבוע"

- **"אלגוריתם קבוע"** – כל פרטי הפתרון נקבעים על ידי המפתח, ומקודדים מלכתחילה. ביצועי המערכת קבועים מתחילת פעולתה.
- **מערכת לומדת** – האלגוריתם כולל פרמטרים אשר מכווננים בתהליך הלימוד. ביצועי המערכת משתפרים במהלך הלימוד.

9

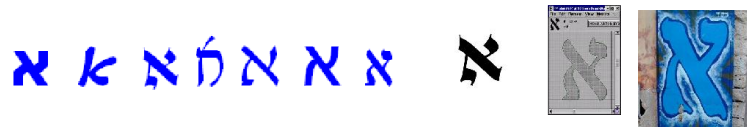
דוגמא 1: לימוד קריאה "אלגוריתם קבוע"

- נתאר ראשית את האות "א".
- האות **אלף** (דפוס) – מורכבת משלושה קווים:
(1) קו אלכסוני ארוך הנמשך משמאל למעלה לימין למטה, (2) קו קצר יותר היורד מימין למעלה לערך אל השליש התחתון של הקו הראשון, (3) קו קצר נוסף העולה משמאל למטה אל השליש העליון של הקו הראשון.
- האות **אלף** (כתיב) – וכולי .

10

דוגמא 1: לימוד קריאה שימוש בדוגמאות

- הנה דוגמאות לאות א:



- נמשיך עם דוגמאות לאות ב:



11

דוגמא 2: זיהוי חיות בתמונות

- ראשית, נתאר "חתול".
???

- אולי עדיף להתבונן בדוגמאות:



- ולהוסיף דוגמאות שליליות ("לא חתול"):



12

מדוע למידה חישובית?

- הקניית יכולות שהן מעבר ליכולת הניתוח והמימוש הישיר מפתח המערכת.
- הסתגלות לסביבה משתנה ופרמטרים לא ידועים.
- חיסכון בזמן תכנון ופיתוח של מערכות מורכבות.

13

תחומי יישום: רשימה חלקית 1

- זיהוי כתב
- זיהוי דיבור
- ראייה ממוחשבת – הבנת תמונה ווידאו
- מנועי חיפוש
- התאמה אישית: מודעות, המלצות
- סיווג מסמכים (דוא"ל טפילי, חשיבות, נושא)
- עיבוד שפה טבעית: תרגום, הבנה



14

תחומי יישום: רשימה חלקית 2

- חיזוי מגמות ומדדים פיננסיים
- מידע עסקי-שיווקי: הערכת מכירות, ביקושים, שווי
- מידע עסקי: זיהוי פעילות חריגה
- אבטחת סייבר: זיהוי וירוסים ומתקפות
- יישומים רפואיים: אבחון מחלות
- ביו-אינפורמטיקה: ניתוח מידע ביולוגי, סדרות גנטיות...



15

תחומי יישום: רשימה חלקית 3

- יישומים תעשייתיים: תהליכי ייצור וחלוקה
- תכן מעגלי VLSI
- משחקי לוח: שח, שש-בש, גו
- משחקי מחשב
- רובוטיקה
- נהיגה אוטונומית



16

תחומי ידע רלבנטיים

כלים בסיסיים:

- הסתברות וסטטיסטיקה
- אופטימיזציה
- חישוביות ואלגוריתמיקה
- חומרה ותוכנה ייעודית

השראה:

- למידה אנושית, פסיכולוגיה
- נירוביולוגיה

17

קשרי גומלין

- למידה חישובית ↔ סטטיסטיקה
- למידה חישובית ↔ אינטליגנציה מלאכותית, AI
- למידה חישובית ↔ כריית מידע, Data Mining

18



19

סוגי בעיות למידה

- נהוג להבחין בין מספר סוגים של בעיות למידה, הנבדלים במטרות הלמידה ואופי המידע הזמין לצורך כך:
 - למידה מודרכת: Supervised Learning
 - למידה לא-מודרכת: Unsupervised Learning
 - למידה מחיזוקים: Reinforcement Learning
- בקורס הנוכחי נתמקד בתחום הלמידה המודרכת
- שני הנושאים האחרים גדונים, בהתאמה, בקורסים "עיבוד וניתוח מידע", "לימוד ותכנון במערכות דינאמיות".

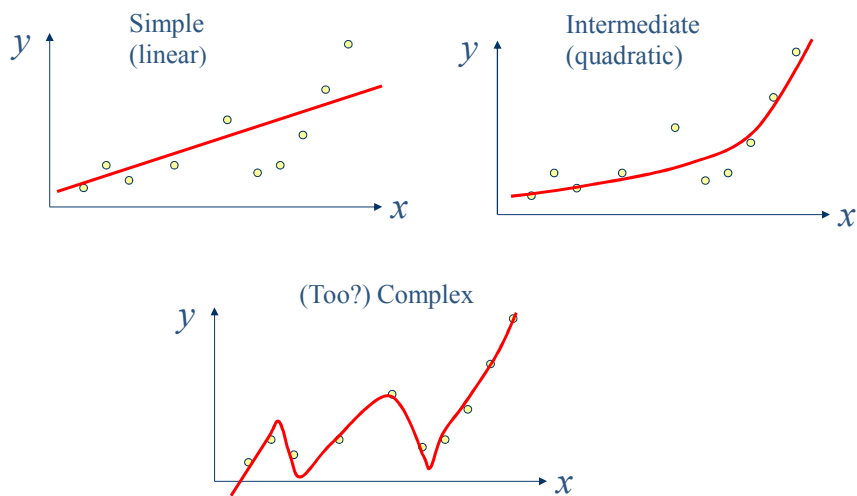
20

למידה מודרכת

- נתון מרחב כניסה X , ומרחב פלט Y (או: קבוצת תגיות).
- המטרה היא ללמוד מיפוי (פונקציה) $f: X \rightarrow Y$, כלומר: לכל כניסה אפשרית $x \in X$ נדרש לשייך פלט (תגית) מתאימה $y = f(x)$.
- המידע הזמין לצורך הלימוד הינו אוסף דוגמאות (קבוצת אימון)
 $\mathcal{D} = \{x_i, y_i\}_{i=1}^n$
- אנו מניחים כי y_i הינה התגית המתאימה (הרצויה) עבור הקלט x_i .
- בעיית הלמידה פה היא ביסודה בעיית הכללה או הסקה אינדוקטיבית: עלינו להסיק מאוסף דוגמאות סופי מהי התגית y המתאימה לקלט כלשהו $x \in X$.

21

הכללה והתאמת יתר



22

למידה מודרכת: מינוח

- הבעיה הכללית של מציאת תגית y מתאימה לקלט x נקראת **הסקה או חיזוי**.
- מקרים מיוחדים חשובים:
 - בעיית סיווג (classification): קבוצת התגיות Y הינה סופית וקטגורית.
 - בעיית רגרסייה (regression): קבוצת התגיות Y הינה ממשיית.
- שמות אלה מתייחסים הן לבעיית **החישוב** של הפלט $y = f(x)$, והן לבעיית **הלמידה**, שבה המיפוי f נלמד מתוך המידע D .
- בעיית הסיווג קרויה גם זיהוי תבניות: Pattern Recognition.

23

למידה מודרכת – זיהוי כתב יד

80322-4129 80206

40004 4310

כר 878 רכ 59153

3502 75316

35460 44209

```
101191348374630224641181  
4359720249297722310095701  
3094444871010012406105231  
10441110307324200171966  
2112076762557431427155160  
101973018911499102197094  
010770757131973015617056  
107651645514314318090763  
1787211655744354603574065  
18266100503047520515701
```

- קלט – תמונת ספרה
- פלט – תגית 0-9
- קבוצת אימון: דוגמאות של ספרות מתויגות
- זו בעיית **סיווג**

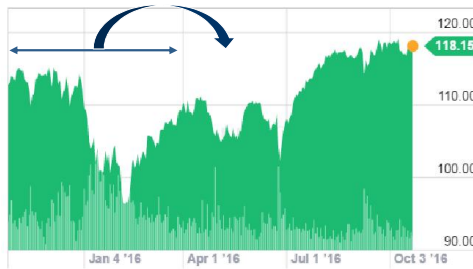
24

למידה מודרכת - חיזוי שער מניות

■ **קלט:** מידע היסטורי – שער המניה, מדדים כלכליים רלוונטיים – במשך N ימים אחרונים

■ **פלט:** שער מניה נתונה בעוד m ימים

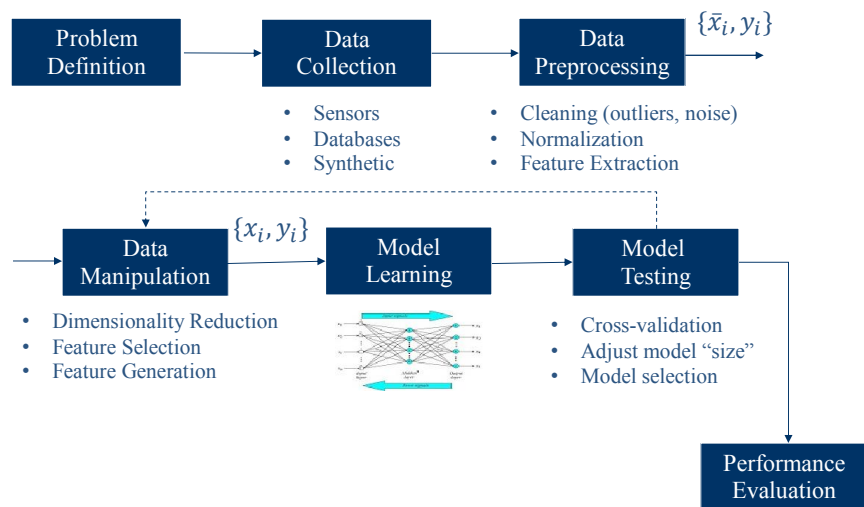
■ **קבוצת האימון (דוגמאות)** מתקבלת מתוך נתוני העבר.



■ זו בעיית **רגרסיה**

25

למידה מודרכת – תהליך הלימוד



26

למידה לא-מודרכת

- פה הנתונים הם $D = \{x_i\}_{i=1}^n$ בלבד, כלומר אין הפרדה לקלט ופלט.
- מטרות אפשריות הן בהתאם: מציאת תכונות "מעניינות" של הנתונים, ייצוג חלופי של הנתונים שהוא יעיל או בעל משמעות, וכד'.

27

למידה לא-מודרכת

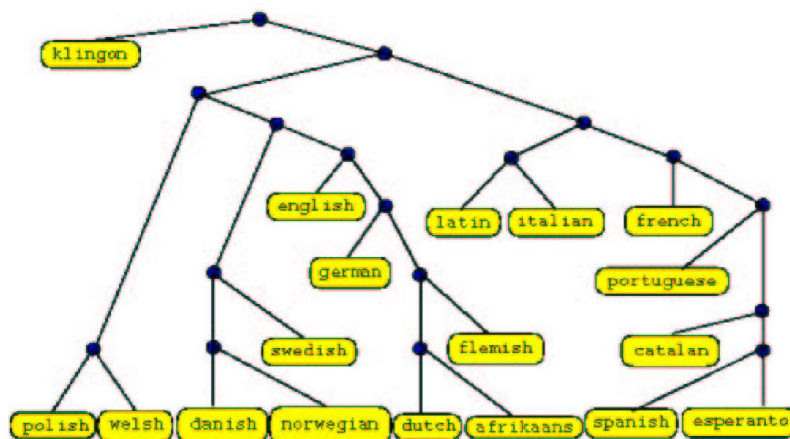
- משימות בסיסיות בלמידה לא-מודרכת:
 - **אישכול** – חלוקת הנתונים $D = \{x_i\}_{i=1}^n$ לתת-קבוצות בעלות משמעות
 - **הפחתת מימדיות** – ייצוג מידע רב מימדי ע"י נקודות במימד נמוך יותר, תוך שימור מירבי של התוכן \ המשמעות של המידע המקורי.
 - **מיצוי מאפיינים** – מציאה אוטומטית של מאפיינים בעלי משמעות (בד"כ כהכנה או כחלק מלמידה מודרכת).
 - משימות מתחום כריית מידע: זיהוי חריגות, מציאת משתנים קשורים, מערכות המלצה.

28

דוגמא – אישכול היררכי של שפות

- **קלט** - אוסף של סדרות בנות 1,500 אותיות ב- 18 שפות (2 מלאכותיות)
- **אלגוריתם** - אישכול מבוסס על מדד מרחק בין הסדרות, אשר לוקח בחשבון את המבנה הזמני של הסדרה
- **תוצאה** - היררכיה המתארת את הדמיון בין השפות

29



- המבנה המתקבל מתאים היטב לעץ הבלשני

30

למידה מחיזוקים Reinforcement Learning

- הבעיה – למידה של פעולות מיטביות בסביבה דינאמית
- תחומי יישום:
 - רובטיקה
 - משחקי לוח, משחקי מחשב
 - תפעול מערכות מורכבות בזמן אמת
- אופן הלמידה – התנסות ושיפור:
 - אינטראקציה עם המערכת: בחירת פעולות ובחינת התוצאות
 - התנסות לפעולות המובילות לתוצאות רצויות (חיזוק חיובי)

31

למידה מחיזוקים

- פריצות-דרך לאחרונה – בשילוב "למידה עמוקה":
 - משחק GO – תוכנה לומדת הינה אלופת העולם
 - משחקי מחשב "אטארי" - למידה עם קלט מצלמה בלבד

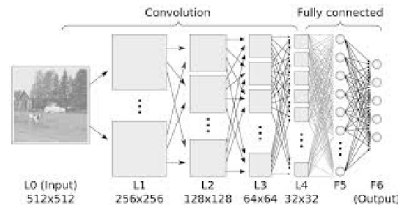


- אתגרים:
 - מספר מצבים עצום: מחייב הכללה
 - בעיית החקירה: באילו מצבים כדאי להתמקד לצורך הלמוד
 - חלוקת קרדיט זמנית: מתוך רצף מהלכים (פעולות) שהובילו לניצחון, מיהם הטובים?

32

למידה עמוקה: כמה מילים על:

- המודל הנלמד הוא רשת עצבית רב-שכבתית ("רשת עצבית עמוקה", Deep Neural Net), עם מספר רב של פרמטרים נלמדים.

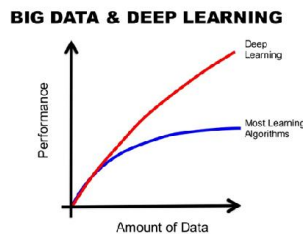


- הצלחת הגישה חוללה מהפכה בתחום הלמידה החישובית:
 - שיפור ביצועים מהותי בתחומים המאתגרים ביותר, החל מעיבוד תמונה, ראייה ממוחשבת, ועיבוד שפה טבעית
 - שטף של יישומים פורצי דרך

33

למידה עמוקה

- תנאים להצלחה:
 - כמויות ענק של נתונים (דוגמאות מתוגות): Big Data
 - כח חישוב משמעותי (✓)



34

למידה חישובית = בינה?

- אלגוריתמי הלמידה החישובית בהם נעסוק פה אינם מכוונים ל"הבנת" הבעייה הנדונה.
- בעיקרם הם מסתמכים על טכניקות נומריות ולא על איפיון והסקה לוגיים.
- נושאים אלה הם עדיין בתחומו של המתכנן (כמיטב יכולתו) – וממתינים אולי להתפתחויות עתידיות בתחום.

35

מנהלות ונושאי הלימוד

דף מידע: באתר הקורס

36