



המכללה לביטחון לאומי

מחזור מ"ז, 2019-2020

קורס מבוא לעולם הדיגיטלי

עבודת סיכום בנושא:

אופטימיזציה בשרשרת האספקה באמצעות 'למידת מכונה'  
(Machine Learning)

final grade: 90

מגישה: אל"ם נורית קדוש

מנחה: פרופסור דני רז

## מבוא

עבודה זו תבחן את תהליך החשיבה וקבלת ההחלטות בניתוח הכנסת **טכנולוגיה עתידית מתחומי 'למידת מכונה'** (Machine Learning) **בשילוב 'בינה מלאכותית' (AI)**, כדי לבנות מודלי חיזוי (forecast/prediction) מבוססי סנסורים ו-IOT (Internet of things). **שאת** לשם מימוש שרשרת האספקה באופן אופטימלי במסגרת פרויקט מרכז ההספקה (מרה"ס) המטכ"לי של צה"ל.<sup>1</sup> מטרת הכנסת הטכנולוגיה היא לבצע חיזוי, סימולציה ועיתוד באמצעות "מכונה" אשר תבצע אופטימיזציה לאחר בחינה וסקלול כלל האילוצים: המבצעיים, תמונת מצב מלאי, רציפות התפקוד וכיוב'. כל זאת, באופן ממוקן, מרגע הירידה במלאי/ הצריכה ביחידת 'הקצה' ועד שמבוצעת הזמנה/ רכש והמלאי מסופק על ידי מרכז ההספקה (מרה"ס).

## רקע

במסגרת תפקידי הבא כראש מחלקה (רמ"ח) במרכז ההספקה (מרה"ס) המטכ"לי של צה"ל, אהיה אחראית על תכנון המלאים והרכש (לשגרה ולחירום) עבור צה"ל בתחומי המזון, הצידוד האישי, ציוד המתגייסים, אמצעי סיוע ללחימה, אמצעי תקשוב, ציוד רפואי וכיוב'. כיום, נערך תהליך תכנון הרכש באמצעים 'סמי ידניים', תוך שימוש בטבלאות אקסל ומודלי סימולציה רבים, והפעלת רציונל משתנה בין משק ומשק. תהליך העיתוד והרכש, נעשה בהיקף תקציבי של כ- 2 מיש"ח בשנה, כאשר נערך ניסיון לבצע אופטימיזציה 'מקומית' בכל שלב מ'שרשרת האספקה', אך לא קיימת יכולת לבצע אופטימיזציה כוללת, 'הוליסטית-אינטגרטיבית לכל השרשרת. לאור כל אלה, תהליך הרכש איננו **אפקטיבי**, הן בהיבט העלויות והן בהיבט זמינות המלאי ברמה המטכ"לית ועבור יחידות צה"ל. לפני כשנתיים נערכה סדנת עבודה במשך כשבוע עם אנשי SAP גרמניה בתחום האחזקה, המעבר ל-predictive maintenance וחיזוי צריכת חלפים, ולא הושגה התקדמות בנושא.

## תיאור הטכנולוגיה

'למידת מכונה' (Machine Learning), לעיתים מכונה 'למידה חישובית', היא תת-תחום במדעי המחשב ובבינה מלאכותית, המשיק לתחומי הסטטיסטיקה והאופטימיזציה. התחום עוסק בפיתוח אלגוריתמים שתפקידם לאפשר למחשב ללמוד מתוך דוגמאות, ולפעול במגוון משימות חישוביות שבהן התכנות הקלאסי אינו אפשרי. שני תחומים מקבילים ללמידת מכונה הם תחום כריית מידע (Data Mining) ותחום זיהוי תבניות (Pattern Recognition) שרבים מן הכלים והאלגוריתמים שפותחו בו משותפים לתחומים הללו.<sup>2</sup> זוהי טכניקת ניתוח נתונים המלמדת את המחשבים לעשות מה שמתבצע באופן טבעי בקרב בני אדם, ללמוד מהניסיון. אלגוריתמים של Machine learning עושים שימוש

<sup>1</sup> שרטוט עקרוני המפרט את שרשרת האספקה מופיע בנספח א'  
<sup>2</sup> ויקיפדיה, ערך: 'למידת מכונה'

בשיטות חישוביות מתקדמות כדי "ללמוד" מידע ישירות מהנתונים, ללא הסתמכות על משוואה קבועה מראש כמוודל. האלגוריתמים משתפרים באופן מיטבי בביצועיהם, כאשר מספר הדגימות העומדות ללמידה גדל.

השימוש בשיטות של Machine learning בא לידי ביטוי במיוחד כאשר יש צורך לחזות תרחישים מסוימים, או לזהות דפוס התנהגותי מסוים, ועל כן הוא רלוונטי במיוחד ליצירת אופטימיזציה בשרשרת האספקה. כל אלו, מבוססים על אוסף נתונים שקיים בארגון. ניתן לראות בכך אתגר מרכזי, היות שבעת הזו, מאגר הנתונים הרלוונטיים נמצא בכלל היחידות והגופים, במערכות מידע שונות אשר אינן מסונכרות ביניהן. בנוסף עלמכך, ישנם נתונים רבים וחשובים אשר כיום כלל אינם נמצאים במערכות המידע. התהליכים ב-Machine learning, דומים לאלו של כריית נתונים ומודלים לחיזוי. האלגוריתמים "מוצאים" דפוסים טבעיים בנתונים וכך מסייעים בתובנות המתקבלות ומסייעים לקבל החלטות טובות יותר על בסיס תחזית. האלגוריתמים מסווגים לרוב, לפי שתי קטגוריות:

1. מפקחים (supervised) - דורשים שמדען נתונים (Data Scientist) או מנתח נתונים (Data Analyst) יהיו עם מיומנויות Machine learning כדי לשלוט על תהליך התחקור, לספק הן את הקלט והן את הפלט הרצוי, ובנוסף לספק משוב על הדיוק של התחזיות, אחרי שנעשתה הרצה של אלגוריתם מספר פעמים. מדעני נתונים קובעים אילו משתנים, או תכונות צריך לנתח ובאיזה מודל צריך להשתמש כדי לבנות תחזיות. לאחר השלמת תהליך הלמידה של אלגוריתם ובחינת טיב האלגוריתם, ניתן ליישם את מה שנלמד על הנתונים החדשים.
  2. לא מפקחים (neural networks/unsupervised) – אינם צריכים לעבור תהליך למידה מבוקר. אלגוריתמים אלה מאתרים דפוסים נסתרים בנתוני הקלט. למעשה, הם משתמשים בגישה איטרטיבית, הקרויה 'למידה עמוקה' (deep learning) לסקירת נתונים, וכך מגיעים למסקנות. הם משמשים למשימות עיבוד מורכבות יותר, כולל עיבוד תמונות, ניתוח דיבור-טקסט (speech-to-text) וניתוח שפה. הם פועלים על ידי סריקה של מיליוני דוגמאות של נתוני דגימה ומזהים באופן אוטומטי קשרים בין משתנים רבים. לאחר תהליך למידה זה, האלגוריתם יכול להשתמש באוסף של קשרים שיצר לעצמו כדי לתת תשובה לגבי נתונים חדשים. אלגוריתמים אלה הפכו להיות שימושיים בסביבות של ביג דאטה, היות והם דורשים כמויות עצומות של נתונים על מנת להריץ תהליך של למידה ליצירת אוסף מספיק גדול של קשרים ולאחר מכן יכולת ליישם את הידע הזה על נתונים חדשים. ועל כן, הם מורכבים יותר ביישום.
- קיימות קטגוריות נוספות כדוגמת 'למידת חיזוק', בה האלגוריתם נמצא באינטראקציה עם המשתמש (הוא מקבל דוגמאות ומבקש תוויות עבורן), כך האלגוריתם של נטפליקס למשל. ראשית, הוא שואל את המשתמש אילו תכנים הוא אוהב, ואז מבסס עליהם המלצות נוספות. בהמשך הוא מפתח את מנגנון ההמלצות בהתאם לתכנים שבהם צפה המשתמש ובהתאם למשוב ממנו: המלצה או דיס-המלצה<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> גן-אל, מרץ 2018, "המדריך המעודכן למהפכה הטכנולוגית הגדולה", כתבה מתוך עיתון "גלובס"

## מהות הכנסת הטכנולוגיה וההישג המצופה למרכז ההספקה (מרה"ס) המטכ"לי

חשיבות רבה נודעת ליישום והטמעת הטכנולוגיה הזו בעת הנוכחית, נוכח ההזדמנויות הטכנולוגיות, במיוחד בתחומי ה-AI וכן לאור העובדה כי תהליך העיתוד והרכש הוא 'ראשית הצירים' של כל שרשרת האספקה. "חוזק השרשרת הוא כחוזק החולייה החלשה". 'למידת מכונה' רלוונטית לאור הצפי לזמן חישוב ארוך במיוחד באמצעות שימוש באלגוריתם רגיל וכן להיעדר סבירות מתמטית במורכבות החישובית של שרשרת האספקה (תהליך המצריך הבנה עמוקה). אופטימיזציה בתהליך העיתוד והרכש תוביל לאופטימיזציה משולבת של כל 'חוליות' בשרשרת האספקה ובכך, אף לשיפור המענה הלוגיסטי ליחידות צה"ל בשגרה ובחירום. האופטימיזציה תבוצע באמצעות 'מכונה', תוך שקלול אילוצים רבים כגון: צרכים מבצעיים, מגבלת משאבים (תקציב וכח אדם), רמות מלאי נדרשות והיקף תשתיות אחסנה זמינות. כמו כן, תינתן האפשרות לבצע 'היתוך' מידע רב – ניתוח צריכות (ממוצעי תקופות עבר), חיזוי צרכים עבור שגרה וחירום וכן מודלי רכש רבים ומגוונים. ההמלצות על היקף הרכש הנדרש, קביעת נקודת מלאי מינימאלית לרכש וכן הפעלת שיטת ההתקשרות המתאימה, כל אלו, נדרשות להתבצע באופן אוטומטי וממוכן, ללא 'אדם בחוג'. הציפייה הינה כי כל התהליכים האוטומטיים בשילוב אופטימיזציה מרבית, יביאו לשיפור רמת המענה הלוגיסטי לצה"ל, תוך התייעלות במשאבים (תקציב וכח אדם).

## סיכונים

כאשר מדובר באיסוף מידע רחב היקף, אגירה וניתוח סטטיסטי רב עוצמה של נתונים בתחום המלאי של צה"ל בשגרה ולחירום, זהו סיכון על רציפות תפקודו של צה"ל בשגרה וחמור מכך, בחירום. מתקפת סייבר 'קטנה' ומקומית, עלולה 'לשתק' את שרשרת האספקה של צה"ל וכן לחשוף מידע 'קריטי' בהקשרי ביטחון מידע לאויב. סיכון נוסף בשימוש באלגוריתמים מבוססי בינה מלאכותית, טמון בהיותן "קופסאות שחורות"<sup>4</sup>. לא ניתן לשחזר את התהליך המתרחש בתוכן ולהבין מדוע המליצו על החלטה מסוימת ולא על אחרת. יש לכך השלכות מרחיקות לכת בתחומי הכשירות והרציפות התפקודית של צה"ל בשגרה ובחירום בתחומים בלתי הפיכים או בעלי השפעה קריטית כדוגמת ציוד רפואי, מזון וכיוב'. קיימים סיכונים גנריים, הרלוונטיים כמעט לכל טכנולוגיה, כדוגמת אנרגיה ורציפות מערכות בגין 'נפילת' רשת או חשמל, וכן מגבלת ביטחון מידע ושימוש ברשת 'שחורה', על מנת שהמידע יהיה זמין ונגיש באופן רחב. אלו הם סיכונים שגם עבורם נדרש לתת מענה וגיבוי.

## שיח עם מומחי טכנולוגיה והשפעתו על קבלת החלטות

קיימות סוגיות טכנולוגיות רבות לדיון במסגרת שיח עתידי עם מומחי הטכנולוגיה, לרבות הבנת הקריטריונים לשימוש בטכנולוגית 'למידת מכונה'. אפרט את העיקריות שבהן:

<sup>4</sup> דולינקו וענתבי, ינואר 2020, "בינה מלאכותית ומדיניות – תמונת מצב בפתח 2020", סקירה אקדמית במסגרת INSS

1. **בחירת האלגוריתם הנכון** יכולה להיות שלב מכריע, היות וקיימים עשרות אלגוריתמים של Machine learning וכל אחד מהם 'נוקט' גישה שונה בתחקור. מכיוון שאין שיטה "הטובה ביותר", מציאת האלגוריתם הנכון והאפקטיבי ליישום הנדרש, תלויה בכמות ובסוג הנתונים שאותם נתחקר, בתובנות שנרצה לקבל מהנתונים וכיצד נעשה שימוש בתובנות. ובמקרים רבים, זהו תהליך של ניסוי וטעייה – אפילו Data Scientists מנוסים ביותר לא יכולים לדעת מראש אם אלגוריתם מסוים יעבוד מבלי לנסות אותו על נתונים קונקרטיים. לאור כך, נדרש להבין מהו מחיר ה'טעות', הן מבחינת לוי"ז תכנון והטמעה והן מבחינת העלויות לפרויקט.
2. **כיצד מייצרים ממשק מול המערכות** האחרות ב'שרשרת האספקה', אשר אינן מבוססות טכנולוגיה זהה וברובן על פלטפורמת מערכות מידע שונות (מערכת ההובלה וההפצה, מערכת האחסנה וניהול המלאי, מערכות התקן והאפיון ההנדסי וכיוב'), לאור חשיבות האופטימיזציה הכוללת.
3. **גמישות המערכת** היא קריטית, כאשר מדובר בצרכים ובתמונת מצב מלאי משתנה בין שגרה ובין חירום, דיפרנציאליות בין משקים (ציוד רפואי, מזון, ציוד תקשוב, ציוד מתגייסים וכיוב').
4. **מערכת לקבלת החלטות** נדרשת להיות חלק מובנה ובלתי נפרד מהתפיסה הכוללת, כדי לתת חיווי והתראות בהתאם להגדרת 'סף ורף' כמענה לצורך מבצעי, ירידה ממלאי מינימאלי וכיוב'.
5. **כמות המידע (Data) הרלוונטי הנדרש והתשתית ההכרחית** (סנסורים, מצלמות, חיישנים וכיוב'), מה המשמעות ומידת ההשפעה של **התקנת סנסורים** על המידע (Data) שנדרש לאסוף? האם האלגוריתם יודע 'להשלים' מידע חסר? כיצד מבוצע תהליך "הלמידה"?
6. האם וכיצד ניתן לבצע את הפרויקט **בשלבים ובאופן מודולארי**, מבחינה טכנולוגית ומבחינת משאבים.

### השלכות רוחביות ואתגרים להמשך

מכיוון שזהו ניתוח עתידי, אתייחס להשלכות הרוחביות ולא אתגרים הצפויים בתהליך טכנולוגי עמוק, כפי שתיארתי עד כה. ראשית, להכנסת טכנולוגיה מתקדמת בשרשרת האספקה, הגם שזהו תהליך לוגיסטי המתרחש באגף הטכנולוגיה והלוגיסטיקה ובמרכז ההספקה (מרה"ס), קיימת **השפעה ישירה על דרג יחידות ה'שדה' המבצעיות**, היות ויידרש מהן להטמיע תהליכי עבודה שונים וטכנולוגיה חדשה, ביחס למה שהן מכירות עד כה. זאת, בשילוב העובדה שחלקם הגדול של בעלי התפקידים אשר יעסקו בנושא, צעיר באופן יחסי ומתחלף מעת לעת ועל כן, תידרש תכנית הכשרה ולמידה קבועה. שנית, הצורך בהקמת תשתית סנסורים ו-IOT (Internet of things), עבור יכולת איסוף נתונים הנדרשים עבור 'למידת המכונה', משפיע על כל צה"ל. הדבר מחייב רתימת מפקדים בכירים בכל הזרועות והאגפים, לצד השקעה תקציבית משותפת. יצירת **תרבות ארגונית של הטמעה ותמרוץ** בתוך מרכז ההספקה, הינו אתגר משמעותי ההתייעלות הצפויה בכח אדם מהווה 'איום' על אנשי מרכז ההספקה העוסקים בתחום העיתוד והרכש, בדגש לאוכלוסיות 'רגישות' כגון אזרחים עובדי צה"ל (אע"צים), זאת לצד הקושי בהכנסת טכנולוגית High tech חדשה ומורכבת והטמעתה בקרב אנשים אשר עסקו ב – Law tech מרבית שנותיהם המקצועיות. זה יחייב גיבוש מודלי

תמרוץ, תגמול והנעה מתקדמים. אתגר נוסף טמון ביחודיות פרויקט הקמת מרכז ההספקה (מרה"ס), אשר מבוצע בשיטת BOT באחריות 'זכייך' אזרחי, המבצע את ההקמה, והפעלה של חלק מן הטכנולוגיות והמרחבים השונים, ועל כן, זה מצריך שילובו עוד בתכנון הראשוני וגיבוש תכנית משולבת אינטגרטיבית.

### **סיכום**

בטוחני- הן מניסיוני בשנים האחרונות בחטיבה הטכנולוגית ליבשה (חט"ל) והן מתפקידי לאורך השנים ביחידות השדה ובמרכזים לוגיסטיים מטכ"ליים, כי הכנסת טכנולוגיה מתקדמת, היא הכרחית ונדרשת בעת הזו יותר מתמיד, לשיפור הרלוונטיות של המערך הלוגיסטי ולאפקטיביות המענה עבור ה'ציר' המבצעי. אין לי ספק, כי קיימות תועלות רבות מ'סדר שני', אשר תתאפשרנה עם הכניסה ל'למידת מכונה' ו'בינה מלאכותית' בשרשרת האספקה, שאת חלקם הגדול, אנו עדיין איננו יודעים לתאר.

## נספח א' – שרשרת האספקה



## ביבליוגרפיה

1. גן-אל, א', (מרץ 5, 2018), "המדריך המעודכן למהפכה הטכנולוגית הגדולה", כתבה בעיתון "גלובס".
2. דולינקו ע' וענתבי ל', ינואר 2020, "בינה מלאכותית ומדיניות – תמונת מצב בפתח 2020", סקירה אקדמית במסגרת INSS, עדכן אסטרטגי, כרך 23, גיליון 1.
3. ויקיפדיה, ערך: "למידת מכונה".
4. פולינצר, ר', (אוקטובר 10, 2019), "מבוא ללמידת מכונה מאמר מס' 2 בסדרה", מאמר בסטטוס, כתב עת לחשיבה ניהולית ואסטרטגית.