

-בלמ"ס-



נובמבר 2021

מו"פ ביטחוני בעולם



לקט עיתונות

לקט עיתונות

משרד הביטחון -
המנהל לפיתוח אמל"ח
ותשתית טכנולוגית
מפא"ת



הופכים חזון לביטחון



מפא"ת

מו"פ

ראו רשימת הידיעות
בעמוד הבא

גיליון נובמבר
2021

עורך:
אל"ם (מיל') יעקב צור

עורך משנה:
ד"ר אהרון האופטמן

כתובת המערכת:
המרכז לתיעוד ומידע מפא"ת,
משרד הביטחון, הקריה ת"א

ביטחוני

בעולם

בגיליון זה סקירה: טכנולוגיה קוונטית – המהפכה הקוונטית השנייה

השתתפו בהכנת הידיעות:

אריה צור, צבי אורבך, אהרון האופטמן, חיים שוורץ, יואל אבידור, רון גרשון, מנקי איתן, רונן פייטן, אילן גוטמן, שאול נגר, מקסי בלום, איתן שרוני, ליאור קורנבלום, יעקב נגלר, אביאל עברי, יעקב צור.

כללי

5	סקירה: טכנולוגיה קוונטית – המהפכה הקוונטית השנייה	.1
13	ניצחון בלוחמת מידע מחייב חישה עמוקה וגמישות	.2
14	צי ארה"ב מחפש פריצות דרך בתחום החומרים האנרגטיים	.3
15	האסטרטגיה הסינית להשגת עליונות צבאית	.4
16	תקיפת חיילים בלוב ע"י רחפן אוטונומי	.5
18	דברים שלמדנו בכנס AUSA	.6
20	הפנטגון מגדיר מחדש עדיפויות במו"פ	.7

יבשה

22	רכיב מערכת נפיצה לפינוי מוקשים מודפס בתלת-ממד	.8
23	רק"ם אמפיבי של נחתי ארה"ב יצויד בתותח 30 מ"מ	.9
24	סימולציה מאפשרת לאמן "צבא" רובוטים בעלי רגליים	.10
25	רובה מדויק שניתן להתקינו על "כלב רובוטי"	.11
26	נורת-פ-גרומן הציגה רכב רובוטי גדול עם תותח 30 מ"מ	.12
27	ג'נרל דיינמיקס: משפחה חדשה של רק"ם רובוטי	.13
28	בקוריא הדרומית נחשף רכב קרבי רובוטי חדש	.14
29	מערכות לניטור מצב גופני תורמות למוכנות מבצעית	.15
30	"תג חכם" יסייע לחיילים בשדה הקרב	.16
31	צי ארה"ב יפתח נשק אישי מבוסס לייזר	.17
32	חייל ההנדסה האמריקני שואף לשפר יכולת מיקוש חכם	.18
33	צבא אוסטרליה בוחן אופניים חמקניים	.19
34	צבא ארה"ב מעכב יישום משקף IVAS	.20
35	מכ"ם רב משימתי חדש	.21
36	כותבים עלינו: כוונת ממוחשבת לנשק קל נגד רחפנים	.22

אוויר והגנא

38	נתוני המטוס החדש Aero3	.23
38	תכן מטוס מתבסס על בקרת זרימה אקטיבית	.24
39	הכנה לטיסה של אבטיפוס ספינת אוויר היברידית	.25
40	מערכת תקש"ל למסוקים	.26
40	ניסויי טיסה לדגם מטוס מטען חשמלי	.27
41	קונספט לכטב"ם חדש Model 437	.28
42	פנטט למניעת התנגשויות בעזרת אקוסטיקה	.29
42	יכולות עתידיות למטוס טייפון	.30
43	הפחתת רעש מנועי סילון	.31
43	פיתוח רחפן חשמלי כבד	.32
44	רחפן אספקה מפותח לחייל הנחתים	.33
45	מקל"ט סיני חדש CH-6	.34
46	חיים בצוותא של מערכות מכ"ם ול"א מתקדמות	.35
47	ניסוי בשליטה על נחיל של 200 רחפנים	.36
48	קוריא הצפונית: ניסוי מוצלח של טיל היפרסוני	.37
49	לייזר רב עוצמה נגד אינמים אוויריים	.38
50	נשק היפרסוני: שלושה שיגורים מוצלחים ואחד כושל	.39
50	חומלץ לעיון: מטוסים חדשים בתערוכה בקוריא	.40

51	איטליה: הנעת ספינות בדלקים לא מזהמים	41
51	ספינה לא מאוישת של ארה"ב הדגימה ירי טיל גדול	42
52	כטב"ם ימי לאספקה לוגיסטית	43
53	הושלם אבטיפוס כשב"ם לצי פורטוגל	44
54	ניסויי שיגור טיל היפרסוני רוסי מספינה	45
54	רוסיה: שיגור תת ימי ראשון של הטיל ZIKRON	46
55	נשק לייזר ואנרגיה מוכוונת לצרכי הצי מפותח בבריטניה	47
55	כשב"ם לגילוי מוקשים ימיים בטכנולוגיה של מוליכי-על	48
56	צי ארה"ב חשף כשב"ם ללוחמת נצ"ל	49
57	צוללת עם יכולות חמקנות חדשות	50

לוינות וחלל

58	החל איסוף דגימות סלעים מקרקע המאדים	51
58	מסוף תקשורת לוויינית מתקדם וקל לשימוש	52
60	ראש רשות החלל הבריטית מזהיר מטרור בחלל	53
60	פיתוח תקשורת אופטית לקונסטלציות בחלל	54
62	לוויינים ימירו אנרגיה סולרית וישדרו אותה ב-RF	55
63	רובוטים ישתפו פעולה בכרייה על הירח	56
63	תחנת החלל הבינלאומית הוסטה שוב ממסלולה	57

תקשוב

65	כבל USB מכיל מחשב זעיר שמרגל אחר הקלדות	58
66	חא"א נערך לעיבוד מודיעין באזור עימות ללא תקשורת לארה"ב	59
66	"מודעות עצמית נסתרת" תגן על מערכות פיזיות מהתקפות סייבר	60
68	מפעל התוכנה של צבא ארה"ב להכשרת חיילים ללוחמת סייבר	61
69	מחשוב קוואנטי: מזעור ללא קירור קריאוגני	62
71	צי ארה"ב בוחן טכנולוגיית 5G לתקשורת עם כלים לא	63
72	תקשורת מבוססת בלוקצ'יין תסייע לניהוג רובוטים	64

טכנולוגיות

73	מכשיר של צי ארה"ב יוכל למנוע מאנשים לדבר	65
73	מנגנון רובוטי מחקה חבטה עוצמתית של חסילון	66
74	שבבים מעופפים – בהשראת זרעים	67
75	רובוט רך מתגלגל, בנוי בהדפסה 4 ממדית	68
76	לקראת ייצור תעשייתי של ננו-צינורות בורון	69
77	כיוול מיקרופונים ע"י חישת לייזר	70
78	גילוי יעיל של נייטרונים ע"י דיודה אנכית	71
79	התקן לייזר מורכב ממערך לייזרים זעירים	72
80	הפנטגון: נדרשים מקורות אנרגיה חלופיים לצבא	73

ארגון וכללי

01

סקירה: טכנולוגיה קוונטית – המהפכה הקוונטית השנייה

מאת דר' מנחם גבעון

- המחלקה לפיסיקה, אוניברסיטת בן גוריון בנגב.
- ב.ג. נגב טכנולוגיות ויישומים בע"מ.

קישור למקורות הביבליוגרפיים בסקירה:

https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-1vSuj7juw1xmReRDkoJLXNWyNzKZqmPtEy30DIRGh37c2Gr5QAF-e9LUH_dLzMdWz6w/pub

תקציר

המונח "המהפכה הקוונטית השנייה" מתייחס לקבוצה של פיתוחים טכנולוגיים המבוססים על המכניקה הקוונטית. בדפים הבאים נתאר באופן כללי את התחומים העיקריים של פיתוחים אלו ואת השימושים האפשריים בהם. התחום הראשון הוא "תורת המידע הקוונטי" – quantum information science, הכוללת את המיחשוב הקוונטי ואת התקשורת הקוונטית. התחום השני הוא המטרולוגיה הקוונטית (מערכות מדידה המבוססות על המכניקה הקוונטית). החומר מוגש באופן תמציתי, עם הפניות למקורות נוספים, הכוללים גם הסברים מפורטים של מושגים מתורת הקוונטים.

1. המהפכה הקוונטית הראשונה

תורת הקוונטים התגבשה ברבע הראשון של המאה העשרים, ושני יישומים שלה: הטרנזיסטור, שהודגם לראשונה ב-1947 (פרס נובל 1956 [1]) והלייזר שהודגם לראשונה ב-1960 [2] הובילו את המהפכה הקוונטית הראשונה. מהפכה זו התבססה בעיקר על גילוי הדואליות גל-חלקיק. הדואליות של האלקטרון איפשרה את הבנת המערכה המחזורית, את הבנת הריאקציות

הכימיות ואת האלקטרוניקה של המוליכים למחצה. הבנת הדואליות של הפוטון הולידה, בין השאר, את הלייזר. פירותיה של מהפכה זו כוללים את האלקטרוניקה הממוזערת לסוגיה, ובראשם המחשבים, הטלפונים הניידים, המדפסות ושאר מכשירים אלקטרוניים לסוגיהם, כולל, למשל, מערכות בקרה שנמצאות היום בכל כלי תחבורה שהוא וברוב המכונות בתעשייה.

2. המהפכה הקוונטית השנייה

החל משנות השמונים של המאה העשרים ובעיקר בעשור האחרון מתרחשים מאמצי מחקר ופיתוח מקיפים שעשויים להוביל למהפכה טכנולוגית חדשה, המכונה "המהפכה הקוונטית השנייה". מהפכה זו תהיה תוצאה של התפתחות טכנולוגית שמאפשרת, בין השאר, שימושים בסופר-פוזיציה הקוונטית [3] - היכולת של מערכת קוונטית להיות בשני (או יותר) מצבים בעת ובעונה אחת, ובשזירה (entanglement) הקוונטית [4] של שניים (או יותר) חלקיקים - מצב שבו אפיון קוונטי של חלקיק אחד הוא בלתי נפרד מהאפיון הקוונטי של החלקיק השני, גם כאשר החלקיקים מרוחקים זה מזה מרחק רב ככל שנרצה.

נסקור תחילה את תורת המידע הקוונטי הכוללת את המיחשוב הקוונטי ואת התקשורת (והצפנה) הקוונטית, ובהמשך את המטרולוגיה הקוונטית.

שורה של קיוביטים, המערכת הפנימית של המחשב הקוונטי מפעילה עליהם פעולות קוונטיות המתאימות למערכת אותה רוצים לדמות, ונוצר פלט שגם הוא שורה של קיוביטים. אם הכול פועל כשורה, על בסיס הפלט אפשר לבנות את ההדמיה המבוקשת.

ב-1994 הוצג שימוש אפשרי נוסף למחשב הקוונטי: האלגוריתם של שור (Shor) [7] שיכול להוביל לפיצוח של קוד ה-RSA [8], קוד ההצפנה המשמש היום כבסיס להצפנת רוב התקשורת הבנקאית, הפרטית והאחרת, כולל רוב התקשורת ברשת. קוד זה מבוסס על הקושי לפרק לגורמים מספרים גדולים. הזמן הנדרש למחשב קלאסי לפרק מספר לגורמיו גדל באופן מעריכי (exponentially) עם אורך המספר, ולכן עבור מספרים מספיק גדולים אין אפשרות ריאלית לפצח את הקוד. קושי דומה קיים בפתרון חלק מהבעיות בתחום הקומבינטוריקה.

הצגת האלגוריתם של שור הביאה להגברת העניין במיחשוב הקוונטי. תחילה הפיתוח היה בעיקר בתחום התיאורטי, אך בעשר השנים האחרונות מדינות רבות משקיעות בבניית מחשבים קוונטיים מיליארדי דולרים, יחד עם חברות ענק כמו גוגל, IBM, אינטל ואחרות. כדי לבנות מחשב קוונטי, נדרש להגיע למספר יכולות [9]. במסגרת סקירה זו לא נוכל לפרט את כולן, ונסתפק ביכולת לממש שורה (register) של קיוביטים, שניתן להביא אותם למצב התחלתי מוגדר, ושזמן הקוהרנטיות שלהם הוא מספיק ארוך ביחס לזמן החישוב (זמן הקוהרנטיות) [10] הוא הזמן שעובר עד שהסופרפוזיציה הקוונטית של $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ דועכת לתערובת קלאסית של שני המצבים). אם זמן הקוהרנטיות של הקיוביט קצר ביחס לזמן החישוב, המחשב הקוונטי יקרוס. כדי לממש קיוביט, נדרש למצוא מערכת קוונטית שיש לה שני מצבים קוונטיים מוגדרים (שנסמנם כ- $|0\rangle$ ו- $|1\rangle$). בחלק גדול מן המחשבים הקוונטיים שמומשו עד היום הקיוביט מבוסס על שני מצבים של מעגל על-מוליך המכיל צמתי ג'וזפסון (Josephson junctions) [11]. אפשרויות אחרות

3. מיחשוב קוונטי

לפני שנתאר את המחשב הקוונטי, נזכיר את המחשב הדיגיטלי הקלאסי. מחשב זה מבוסס על ביטים שיש להם שני מצבים אפשריים: 0 או 1. המערכת הפנימית של המחשב מקבלת קלט ע"י שורה (register) של ביטים, מפעילה עליהם פעולות שונות ומייצרת פלט שגם הוא שורה של ביטים. חשוב לציין כי ניתן לממש את הביט כך שהסיכוי לשגיאה בהזנה או בקריאת נתונים לביט (0 במקום 1 או להפך) יהיה מאד נמוך. אם אכן הסיכוי הוא קטן, מספיקה הוספת מספר קטן של ביטים לצורך בקרה ותיקון שגיאות כדי להגיע למצב בו הסיכוי לשגיאה בפעולת מערכת הפנימית של המחשב הוא אפסי.

המחשבים הדיגיטליים הוכיחו יכולת מדהימה בהדמיה של מערכות פיזיקליות גדולות, כגון חישובי המסלולים של גרמי השמיים, הלוויינים והחלליות, או חישוב מדויק של תהליכי הגאות והשפל. אולם, כאשר ניסו לבצע הדמיות של מערכות קוונטיות, התברר כי עבור מערכת כזו בה מספר החלקיקים עולה על כמה עשרות, החישוב נעשה מסובך מדי ומעבר ליכולת של כל מחשב דיגיטלי קלאסי שניתן לחשוב עליו, כיוון שהזמן הנדרש להדמיה עולה באופן מעריכי (exponentially) עם מספר החלקיקים.

בשנות ה-80 של המאה הקודמת עלה הרעיון (ריצ'ארד פיינמן ואחרים [5],[6]) להשתמש במחשב קוונטי לצורך ההדמיה של מערכות קוונטיות, וייתכן שגם לצרכים נוספים. המחשב הקוונטי מתבסס על ה"קיוביט" - הביט הקוונטי. לעומת הביט הקלאסי שיכול, כאמור, להיות רק באחד משני מצבים אפשריים: 0 או 1 (שנסמנם בהמשך כ- $|0\rangle$ ו- $|1\rangle$), הקיוביט יכול להיות בכל סופרפוזיציה קוונטית $|\psi\rangle$ של שני מצבים אלו: $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$, כאשר האמפליטודות α ו- β הם מספרים מרוכבים המקיימים את התנאי $\alpha^2 + \beta^2 = 1$. הם הסיכויים למצוא את הקיוביט במצב $|0\rangle$ או $|1\rangle$, בהתאמה, כאשר מבצעים מדידה של הקיוביט). גם כאן, הקלט הוא

במקביל לפיתוח המחשב הקוונטי, מתנהל פיתוח של אפליקציות למחשבים קוונטיים (ראה פירוט נרחב ב [19, 16]) בתחומי פיצוח הצפנות, פיתוח תרכובות כימיות ותרופות, פיתוח שימושים עתידיים בתחום הבנקאי, שיפור תהליכי ייצור ועוד. קיימות תחזיות (למשל [16]) הצופות למחשבים הקוונטיים ולשימוש בהם היקף שוק שנתי כולל של בין 5 ל-10 מיליארד דולר בעשור הקרוב ובין 80 ל-170 מיליארד דולר בעשור הבא. בארץ מתנהלים מחקרים בנושאים הקשורים למיחשוב קוונטי בכל האוניברסיטאות, וקמו בשנים האחרונות מספר חברות הזנק בתחום, אך אין עד היום מחשב קוונטי בעל יותר ממספר חד ספרתי של קיוביטים. יש כוונה (ותקציב) לבניית מחשב כזה בעל מספר עשרות קיוביטים. כוונה זו היא חלק מהפעולות שמקדמת התוכנית הלאומית למדע וטכנולוגיה קוונטיים, שאחת ממטרותיה היא לתמוך בבניית בסיס רחב של ידע מקומי במחשוב קוונטי, הן בחומרה, הן בתוכנה והן בשימושים, כדי שלא נמצא את עצמנו בעוד עשור או שניים בפיגור עמוק בתחום חשוב זה.

4. תקשורת והצפנה קוונטית

כפי שצינו בסעיף הקודם, המחשב הקוונטי יוכל, בעתיד, לפצח הצפנה המבוססת על RSA, וכנראה גם הצפנה המבוססת על פרוטוקולים קלאסיים אחרים. במקביל, המכניקה הקוונטית מאפשרת הצפנה מסוגים אחרים, שנראים, לפחות בשלב זה, חסינים מפני פיצוח ומפני האזנה. הפרוטוקול הראשון שפותח להצפנה הקוונטית מטפל בהעברת מפתח ההצפנה המפתח משמש להצפנת המסר אצל השולח (אליס) ולפענוחו אצל המקבל (בוב). ב-1984 פותח פרוטוקול קוונטי המאפשר לאליס לשלוח לבוב מפתח (המכונה "מפתח קוונטי" – "Quantum key") דרך קווי תקשורת כך שאי אפשר יהיה להאזין לתקשורת בלי שאליס ובוב יידעו שמאזינים להם [20], [21]. לצורך זה משתמשים בשני קווי תקשורת, קו אחד

הן, למשל: שני מצבי הספין של חלקיק בעל ספין $1/2$, או שני מצבי הקיטוב של פוטון, או מצב היסוד $+ אחד מהמצבים המעוררים של אטום/יון$. לאחר שמאתחלים את הקיוביט לסופרפוזיציה קוונטית $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$, עומדת בפני המפתחים בעיה קשה – שמירה על זמן קוהרנטיות ארוך של הקיוביט. בניגוד לכיט הקלאסי, שניתן לממש אותו באופן שהוא יהיה כמעט חסין להפרעות, המימושים של הקיוביט חייבים בבדיוד כמעט מוחלט מהסביבה, אחרת הסופרפוזיציה הקוונטית תדעך תוך זמן קצר ביותר לתערובת קלאסית של שני המצבים.

אחד המדדים ליכולותיו של מחשב קוונטי הוא מספר הקיוביטים שהוא מכיל. לאחרונה (יוני 2021) הציגה האוניברסיטה למדע וטכנולוגיה של סין מחשב קוונטי בעל 66 קיוביטים [12], אך בשלב זה רק 56 מהם פעלו במסגרת חישוב קוונטי אחד. גוגל הציגה ב-2019 [13] מחשב דומה, בעל 53 קיוביטים, וגם ל-IBM ולחברות אחרות יש מחשבים קוונטיים עם מספר עשרות קיוביטים. כדי לקבל מושג על המשמעות של מספר הקיוביטים, נציין כי מצד אחד, מחשבים קוונטיים עם 55-66 קיוביטים כבר יכולים לבצע חישובים מסוימים מהר באופן משמעותי ממחשבים קלאסיים, אך מצד שני נדרשים בין מיליון לכמה עשרות מיליוני קיוביטים (תלוי עד כמה הקיוביטים "רועשים") כדי לפצח את קוד ה-RSA-204 [14] ישנן הערכות שונות באשר לקצב ההתקדמות הצפוי בפיתוח המחשב הקוונטי. חברות המפתחות מחשבים קוונטיים מבוססי על-מוליכות פרסמו "מפות דרכים" [15, 16], המתארות את ההתפתחויות הצפויות בתחום. IBM צפויה להציג ציפ בעל 1,000 קיוביטים בסוף 2023. Google קבעה יעד של מיליון קיוביטים עד 2030. במקביל, מתנהל פיתוח של מחשבים קוונטיים המבוססים על פוטונים (למשל, ע"י חברת PsiQuantum וקבוצות אקדמיות שונות [17][18]), שייתכן שיעזו ליעד של מיליון קיוביטים כבר ב-2025.

לכוב. כמובן, ניתן להתקין מספר רב של מימסרים כאלו לאורך הקו. מימסרים אלו מהווים נקודת תורפה בקו התקשורת הקוונטית, הואיל ובתחומי המימסר עצמו המפתח הקוונטי גלוי, ולכן המימסר צריך להיות מהימן. בשיטות אחרות של הצפנה קוונטית, המבוססות על שזירה קוונטית, צריך להשתמש במימסרים אחרים, הקרויים quantum repeater או מימסר קוונטי [27]. למיטב ידיעתנו, אין עדיין מימוש מסחרי של מימסרים כאלו.

תחום נוסף של התקשורת הקוונטית - הקישוריות בין מחשבים קוונטיים, או "האינטרנט הקוונטי" [28], החל להתפתח בשנים האחרונות במקביל להתקדמות במיחשוב הקוונטי. בקבוצת עבודה שארגנה הקרן הלאומית למדע של ארה"ב, והשתתפו בה נציגים מ-38 מוסדות אקדמאים וחברות בתחום הקוונטי, נקבע [29] כי "הקישוריות הקוונטית עתידה להפוך לצוואר בקבוק ואתגר מרכזי של טכנולוגיית המידע הקוונטי".

בישראל אין עדיין מערכת לתקשורת קוונטית, אך כבר מספר שנים מתנהלת פעילות בתחום, בעיקר במסגרת מאגד התקשורת הקוונטית של רשות החדשנות ומפא"ת. במאגד משתתפות מלנוקס טכנולוגיות בע"מ, אלביט, קוונט אל. אר. וחברת אופטיס-טק, לצד כ-10 קבוצות אקדמיות. במסגרת המאגד מפותחות, בין השאר, טכנולוגיות ליישום התקשורת הקוונטית הן בסיבים והן באוויר, וטכנולוגיות לשילוב רשתות תקשורת קוונטיות עם מערכות תקשורת קלאסיות. כמו כן, קוונט אל. אר. ביצעה כבר ניסויי שטח עם לקוחות. פעילות זו עתידה לקדם את הקמתן של רשתות תקשורת קוונטיות בארץ, שתביא לשיפור בעמידות מערכת התקשורת בפני תקיפות עוינות, ותאפשר בעתיד יישומים של אינטרנט קוונטי.

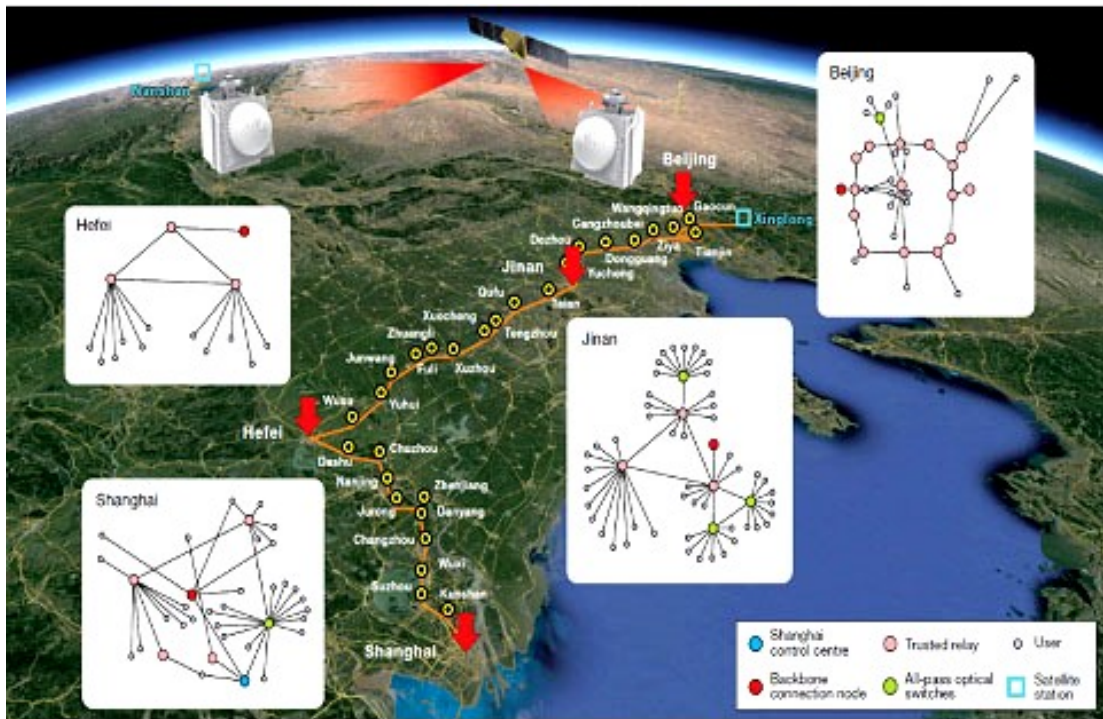
לתקשורת דיגיטלית, וקו שני לתקשורת קוונטית - קו המאפשר העברה של קיוביט. בדרך כלל קו התקשורת הקוונטי הוא אופטי, והקיוביט ממומש ע"י פוטון בודד. כדי שמאזין ידע איזו אינפורמציה הפוטון נושא, הוא חייב למדוד אותו, והמדידה תגרום לשינוי במצב הקוונטי של הפוטון. ביצוע מדידות על הפוטון המתקבל על ידי בוב, והעברת התוצאות לאליס בתקשורת דיגיטלית רגילה מאפשר קביעה האם הייתה האזנה (או פגיעה אחרת בפוטון). במקרה כזה בוב יתעלם מהמידע שפוטון זה נושא.

בשנים שעברו מאז התפתחה סדרה של פרוטוקולים לתקשורת קוונטית, שחלקם מתבססים על שזירה קוונטית: זוג פוטונים שנוצרו יחד, והמצב של כל אחד מהם אינו ניתן לתיאור בלי קשר למצב של השני. (ראה פרטים ב[22, 23] והמקורות המוזכרים שם).

לתקשורת הקוונטית, ולחסינות שלה להאזנה, שיבוש והטעיה, יש חשיבות גדולה בהגנה על תשתיות קריטיות, כגון רשת החשמל [24], רשתות המים והביוב, מערכות הבנקאות והפיננסים, ותקשורת צבאית ומשטרתית. סין מובילה בתחום זה, ויצרה כבר רשת תקשורת קוונטית המשרתת אזור גדול בסין, ומשלבת מערכת סיבים אופטיים קרקעית יחד עם תקשורת לוויינית (ציור 1 [25]). רשתות כאלה מוקמות גם בכ-20 מדינות נוספות.

אחת הבעיות של התקשורת הקוונטית היא המרחק המוגבל (כ-100 ק"מ) שפוטון בודד יכול לעבור בסיב אופטי בלי שידעך עד שהמצב הקוונטי שלו יהיה בלתי ניתן לקריאה. בתקשורת דיגיטלית רגילה אפשר להגביר את האור, אך הגברה כזאת תהרוס את המצב הקוונטי של הפוטון. ניתן לפתור זאת ע"י התקן הקרוי trusted quantum relay, או מימסר קוונטי מהימן [26]. אם המרחק בין שני המתקשרים (אליס ובוב) עולה על 100 ק"מ, המימסר מותקן על קו התקשורת בין אליס ובוב, מפענח את המפתח הקוונטי שאליס שולחת, מצפין אותו שוב ושולח אותו

ציור 1 [25] מערכת התקשורת הקוונטית (Quantum Key Distribution - QKD) שנחאי – בייג'ינג, המשרתת 4 אזורים מטרופוליטניים (חץ אדום ופירוט באינסרטים) + שני אזורים נוספים בקישור לווייני. השדרה המרכזית (מסומנת בקו כתום) כוללת 700 קישורי סיבים לאורך 2,000 ק"מ, והלוויינים מוסיפים עוד 2,600 ק"מ למערכת. (אחד האזורים מחובר הן ללוויין והן לסיבים הקרקעיים). העיגולים הצהובים-שחורים מסמנים trusted relays (ראו טקסט). למערכת 157 משתמשים (נכון ל 2019), וקצב העברת התשדורות נע בין 19 ל-40 kbps באזורים המטרופוליטניים ל 235 kbps בשדרה המרכזית.



לדוגמה, אטומי צדיום בטמפרטורת החדר יתפלגו באופן שווה בין כל 16 תת-רמות היסוד של הצדיום [31]. ע"י שילוב של קרני לייזר ושדות מגנטיים ניתן לקטב (לשאוב) את כל האטומים לאחת מתת רמות אלו. בשיווי משקל תרמי, לכל אחת מתת רמות אלו יש דיפול מגנטי המכוון לכיוון אחר במרחב ולצבר האטומים אין כל שדה מגנטי מאקרסקופי.

שאיבה אופטית של כל האטומים לאותה תת-רמה תגרום לכל הדיפולים המגנטיים להיות באותו כיוון ביחס לכיוון קרן האור, וצבר האטומים

5. מטרולוגיה קוונטית

בחלק זה נסקור שלשה תחומים: מדידת זמן, מדידת תאוצות וגרביטציה, ומדידת שדות מגנטיים. כהקדמה, נקדיש מספר משפטים לשתי טכנולוגיות שיש בהם שימוש רב.

ראשית, שאיבה אופטית (optical pumping). [30] תהליך של שאיבה אופטית מתרחש כאשר מאירים צבר של אטומים באור בתדר המתאים ובקיטוב המתאים, וגורמים קיטוב של המצב הקוונטי של צבר האטומים. כאשר האטומים אינם מוארים, התפלגות המצבים הקוונטיים שלהם היא ההתפלגות התרמית.

והדיוק היחסי ל-10-16. מקורות אלו הם מתקנים מעבדתיים גדולים (ברמה של חדר). בעשור האחרון מספר חברות מפתחות שעונים קטנים יותר המבוססים גם הם על אטומים קרים (ראה למשל [37],[38]). שעונים אלו הם בדרך כלל בגודל של מחשב שולחני רגיל, והיציבות והדיוק היחסי שלהם הם בין 10-14 ל 10-15. התפתחות נוספת בתחום זה היא המעבר ממקורות תדר המבוססים על מעברים אטומיים בתחום המיקרוגל למקורות המבוססים על מעברים אטומיים בתחום האופטי [39]. מערכת של מקורות תדר כאלו מגיעה ליציבות ודיוק יחסי של 10^{-18} [40] (שעון המבוסס על רשת מקורות תדר כזו צפוי לטעות של מספר מאיות השנייה על פני תקופה של מיליארד שנה). שעונים אלו הם כלי המדידה המדויק ביותר שהאדם בנה, וכנראה יביאו להגדרה יותר מדויקת של השנייה, שתבסס על מעבר אופטי במקום מעבר בתחום המיקרוגל באטום הצזיום.

יש חשיבות מעשית רבה למערכות מדויקות של זמן ותדר. הניווט הלווייני, המאפשר קביעת מיקום של מכשיר GPS בדיוק של מספר מטרים, מבוסס על שעונים בדיוק של 10-14. כדי להגיע לדיוק טוב יותר, נדרשים שעונים מדויקים יותר. זמן מדויק נדרש גם לצורך ניווט אינרציאלי (ניווט שאינו תלוי בלוויינים). תחום נוסף שבו נדרש תזמון מדויק הוא, למשל, שוק המניות: כאשר מגיעות מיליוני פקודות מסחר ממוחשבות בשנייה, יש חשיבות עצומה לקבלת חותמת זמן מדויקת לכל פקודה. השעונים האופטיים עתידים להוות את חוט השדרה של מערכת זמן עולמית, ולשפר את הדיוק שלה בשני סדרי גודל.

בארץ קיים שעון אופטי אחד במכון וייצמן, ושעון אופטי שני מוקם באוניברסיטת בן-גוריון. כמו כן מתקיימת פעילות לתכנון של מערכת סיבים אופטיים שתחבר שני שעונים אלו ותהווה בסיס למערכת להפצת תדר מדויק בישראל. חברת אקיוביט מירושלים, המתמחה בשעונים אטומיים, מפתחת יחד עם אוניברסיטת בן-גוריון שעון המבוסס על אטומים קרים, ומובילה גם פעילות

ייצור שדה מגנטי מאקרסקופי. שאיבה אופטית משמשת גם על מנת להביא את כל האטומים לאותו מצב (רמה) בתחילתו של תהליך קוונטי. שנית, קירור אטומים בלייזר (לאטומים המקוררים בדרך זו תפקיד מרכזי במטרולוגיה הקוונטית). האטומים אותם רוצים לקרר נמצאים במצב גזי (אדים) בתא שבו קיים ואקום גבוה (>10-11 אטמ'). הקירור מתבצע כאשר מכוונים לייזר לתדר הנמוך במעט מתדר המעבר של האלקטרון באטומים אלו. בשל אפקט דופלר, כאשר אטום נע אל קרן הלייזר הוא "יראה" תדר הלייזר בתדר המעבר, והאטום יבלע פוטונים מהקרן. התנע הנמסר לאטום מפוטונים אלו מאט את מהירותו. שילוב של קרניים כאלה משישה כיוונים יאט את האטום (כלומר, יקרר אותו). הסברים מפורטים על תהליך הקירור הם מעבר לגבולות סקירה זו, ומצויים במקורות [32][33]. נציין רק כי ניתן לקרר את האטומים (בעזרת לייזר ובשיטות נוספות) עד לטמפרטורות של 10-8K (עשרות ננו-מעלות מעל האפס המוחלט).

5.1 זמן ותדר

מקור תדר מדויק הוא הבסיס למדידה מדויקת של הזמן, וכמובן, בסיס לשעון. כיום השנייה מוגדרת כזמן שעובר במשך 9,192,631,770 מחזורים של תדר המיקרוגל המעורר מעבר בין שתי רמות היסוד של אטום צזיום (^{133}Cs) [31][34]. מראשית שנות החמישים של המאה הקודמת קיימים שעונים עם מקורות תדר המבוססים על המעבר הנ"ל בצזיום [35]. הדגם הנוכחי שלהם, Microchip 5071A, שמהווה עד היום את "סוס העבודה" של מערכות זמן ותדר מדויק, מגיע ליציבות ודיוק יחסי של 10-14. בסוף המאה הקודמת הוחל בבניית מקורות תדר בהם אטומי הצזיום מקוררים לכמה מיקרו מעלות מעל האפס המוחלט [36]. דבר זה מקטין את הרעש וההרחבות (בעיקר הרחבה הנובעת מאפקט דופלר – שינוי התדר כתוצאה מהתנועה התרמית של אטומי הצזיום). מקורות תדר אלו, הקרויים fountain frequency reference, שיפרו את היציבות

אחרי הפעלה של מספר פולסים כאלה (ראה ציור 2a, [41]) מאחדים את שני המסלולים. פונקציית הגל של האטום צוברת פזה שונה בכל אחד מהמסלולים, וכאשר המסלולים מאוחדים, יכולה להיות התאבכות בונה (יש חומר) או התאבכות הורסת (אין חומר).

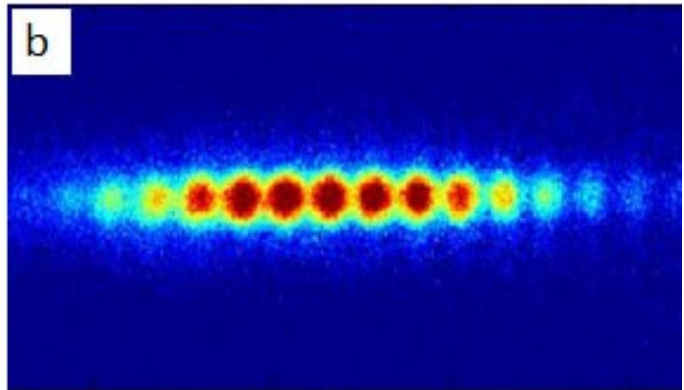
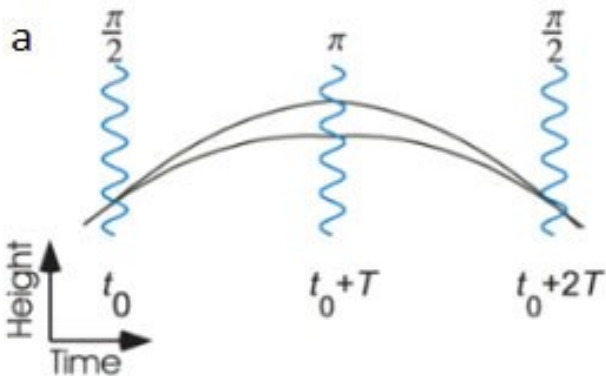
ציור 2. a[41]: תהליך התאבכות המשמש למדידת גרביטציה. הענן האטומי ההתחלתי (נקודה אדומה ב t_0) מועף למעלה ונתון להשפעת הגרביטציה. פולס ראשון של קרני לייזר (מסומן $\pi/2$) נשלח את הענן האטומי, והוא מכוון כך שיפצל את המצב הקוונטי של האטומים לסופרפוזיציה של שני מצבים, נסמנים $|0\rangle$ ו $|1\rangle$. בנוסף, המצב $|1\rangle$ מקבל תנע קווי מהפוטון של הלייזר, והמצב $|0\rangle$ לא מקבל. כתוצאה מכך המסלול המרחבי של כל אחד מהמצבים האלו יהיה שונה, כמודגם בציור. אחרי זמן T , נשלח אל הענן פולס שני (מסומן π), המחליף בין המצבים, והמצב שלא קיבל תנע מהפוטון בשלב הקודם, מקבל אותו עכשיו. כתוצאה, יצטמצם המרחק בין המסלולים, ואחרי זמן T נוסף, המסלולים יתאחדו. בזמן זה נשלח אל האטומים פולס $\pi/2$ נוסף, והפעם הוא מאחד את שני המצבים הקוונטיים חזרה למצב ההתחלתי. בשל ההבדל בין שני המסלולים בזמן האיחוד של פונקציות הגל נוצרת התאבכות, התלויה בהפרש הפאזה שנצברה בכל אחד מהמסלולים. הפרש פאזה זה תלוי בגרביטציה, ועל כן אפשר לחשב את הגרביטציה על בסיס תמונת ההתאבכות המתקבלת.

b[42]: תמונת התאבכות של גלי חומר המתקבלת אחרי תהליך דומה לתהליך המתואר ב- a, אך המבוסס בעיקר על אינטראקציה עם שדות מגנטיים.

להקמת מערכת להפצת זמן מדויק בישראל. חלק מפעילויות אלו מבצעות במסגרת מאגד של רשות החדשנות ומפא"ת בתחום הטכנולוגיה הקוונטית.

5.2. מדידת תאוצות וגרביטציה

מדידת קוונטית של תאוצות וגרביטציה מתבצעת במערכות המבוססות על תחום מחקר המכונה "אופטיקה קוונטית" (quantum optics), ובפרט על יצירה ומדידת של התאבכות של גלי חומר (matterwave interferometry). התאבכות זו מבוססת מצד אחד על הדואליות גל-חלקיק של האטומים, ומצד שני על היכולת של האטומים להיות בסופרפוזיציה קוונטית – להיות "בשני מקומות בבת אחת". בתהליך זה אנו משתמשים בענן של כמה מיליוני אטומים שקוררו באמצעות לייזרים לטמפרטורה של כמה מיקרו-מעלות מעל האפס המוחלט ונשאבו אופטית למצב התחלתי מתאים. בעזרת לייזרים (ולעיתים גם בשילוב של שדות מגנטיים) ניתן להכניס את האטומים למצב של סופרפוזיציה, בו כל אטום ינוע בשני מסלולים בבת אחת.



מגנטי חיצוני תיווצר פרססציה של מומנט זה. הפרססציה משפיעה על האור העובר דרך צבר האטומים, ועל ידי ניתוח השינויים בעוצמת או בקיטוב האור מתאפשרת מדידה של השדה המגנטי.

מגנטומטרים אופטיים מגיעים לרגישות הגבוהה ביותר מכל סוגי המגנטומטרים – $10^{-18} \text{ T/Hz}^{-1/2}$ [160-10-18]. אך זאת רק בשדות מגנטיים חלשים בהרבה משדה כדור הארץ ותחת מיון מגנטי רב שכבתי (ראה סעיף 3.1 ב [49] ומקורות המוזכרים שם). כאשר מגנטומטרים אופטיים פועלים בשדה המגנטי של כדור הארץ ($\sim 50 \mu\text{T}$) הרגישות שלהם הרבה יותר נמוכה: $10^{-12} \text{ T/Hz}^{-1/2}$ [50-10-12]. במדידה גרדיומטרית (מדידת ההפרש בין שני מגנטומטרים סמוכים) מגיעים לרגישות של $10^{-12} \text{ T/Hz}^{-1/2}$ [0.2-10-12]. הביצועים של מגנטומטרים אופטיים מסחריים עדיין נחותים לעומת מגנטומטרים מסוג SQUID (ראה סעיף 2.3.4 ב [49]), אך SQUID דורש קירור בהליום נוזלי, ולכן המגנטומטרים האופטיים נוחים יותר לשימוש ברוב האפליקציות.

המחקר בתחום זה פעיל מאד בשנים האחרונות, וכולל מגנטומטרים אופטיים על שבב [50] ושיפור רצוף בביצועים של המגנטומטרים האופטיים. קיימים מספר ספקים [51], [52], [53], המציעים מגנטומטרים אופטיים מסוגים שונים באופן מסחרי. השימושים האזרחיים שלהם כוללים שימושים רפואיים, סקרים גיאופיזיים, בדיקות נוסעים ומטען בשדות תעופה ועוד. בתחום הביטחוני מגנטומטרים אלו (שהם פסיביים לחלוטין) יכולים לשמש לגילוי תנועת כוחות ביבשה ובים.

בארץ ישנה פעילות בתחום המגנטומטריה האופטית ברוב האוניברסיטאות, וכן באלתא באר-שבע וברפאל. חלק מפעילויות אלו מבצעות במסגרת מאגד של רשות החדשנות ומפא"ת בתחום הטכנולוגיה הקוונטית.

ציור 2b [42] מציג צילום של התאבכות כזאת. בעזרת תמונת ההתאבכות המתקבלת ניתן למדוד (בהתאם למערכת היוצרת את ההתאבכות) גרביטציה, תאוצות קוויות ותאוצות זוויתיות [43]

היכולות של מערכות קוונטיות למדידת גרביטציה הנמצאות בשוק [44] (רגישות לפי מפרט $g/\sqrt{\text{Hz}}$) $5 \cdot 10^{-8}$ דומות לאלו של המערכות הקלאסיות, אך המערכות הקוונטיות נמצאות רק בראשית ההתפתחות שלהן וצפויות להשתפר. מדידת גרביטציה חיונית למיפוי גאודסי, לאיתור מחצבים ומרבצים תת קרקעיים של גז ונפט, וכן למעקב אחרי אקוויפרים של מים.

המערכות הקוונטיות למדידת תאוצה קווית נמצאות גם הן בתנופת פיתוח, הן במעבדות המחקר [45] והן בחברות טכנולוגיה [46] יש הערכות [47] כי בתוך 5 עד 10 שנים מכשירים אלו יהיו כה מדויקים עד שיאפשרו ניווט אינרציאלי מדויק בתוך מבנים, במצבי נטולי GPS ובניווט תת מימי (מובן כי נדרשת גם מדידה קוונטית של תאוצה זוויתית למטרה זו). החשיבות לתחום הביטחוני ברורה מאליה. בארץ מתנהל מחקר אקדמי תיאורטי וניסיוני בתחום מדידה קוונטית של תאוצות וגרביטציה במכון וויצמן למדע ובאוניברסיטת בן גוריון בנגב; כמו כן עוסקת בתחום זה גם חברת רפאל. חלק מפעילויות אלו מבצעות במסגרת מאגד של רשות החדשנות ומפא"ת בתחום הטכנולוגיה הקוונטית.

5.3. מגנטומטריה אופטית

במגנטומטריה אופטית [48] מאירים צבר של אטומים (בדרך כלל אדים (vapor) של אטומים אלקליים) עם אור בתדר המתאים למעברים הקוונטיים של האטומים. האור מקטב את צבר האטומים (הנתונים בתא וואקום עשוי זכוכית) ע"י תהליך של שאיבה אופטית, בה המומנט המגנטי של חלק משמעותי מן האטומים יכוון לאותו כיוון במרחב. תהליך זה יוצר מומנט מגנטי מאקרסקופי בצבר האטומים, ובנוכחות שדה

האלקטרוניקה בשנות ה-50 של המאה הקודמת. כשם שבשנות ה-50 לא היה אפשר לחזות את הטלפונים הסלולריים הקיימים היום, או את הרשתות החברתיות והשפעתן הפוליטית והחברתית, כך קשה היום לחזות לאן תתפתח המהפכה הקוונטית השנייה. עם זאת, כדי שלא נישאר מאחור הן בתחומים האזרחיים והן בתחומים הביטחוניים חשוב לקדם פעילות מו"פ מקומית בכל התחומים הנ"ל.

[כללי](#)

6. סיכום

החומר שהוגש בסקירה זו כולל את התחומים העיקריים שעשויים להביא בעתיד ל"מהפכה הקוונטית השנייה". למרות שקיימות תחזיות מפורטות לשימושים ולהיקפי השוק העתידיים של כל אחד מתחומים אלו, עדיין מוקדם לנבא איזה מתחומים אלה יתפתח באופן מסחרי ומה יהיו השימושים העיקריים שינבעו מכל אחד מתחומים אלו. אפשר להקביל את מצב הפיתוח של הטכנולוגיות שתוארו כאן למצב הפיתוח של

ניצחון בלוחמת מידע מחייב חישה עמוקה וגמישות

02

— 10 בספטמבר 2021

[To win battles of information, the US Army will need deep sensing and data handling](#)

- HADES (High Accuracy Detection and Exploitation System) – מטע"ד הדור הבא האווירי למודיעין, מעקב וסיור. משלב האזנה COMINT/SIGINT ומכ"ם SAR.
- TLS (Terrestrial Layer System) – מערכת המשלבת על פלטפורמה אחת ל"א, סייבר ומודיעין אותות. המערכת מיועדת לרמת החטיבה ודרגים גבוהים יותר ומאפשרת לכוח לספק אפקטים בטווחים משמעותיים.
- אמצעי חישה ועיבוד כאלו יאפשרו מימוש של תוכניות השדרוג של הצבא שבעדיפות, כמו: ארכיטקטורת מעגל סגירת האש חיישן-יורה, מסוקי הדור הבא, או פלטפורמות קרקעיות חדשות. כמובן שהשקעה בטכנולוגיות חישה

מערכת הרכש האמריקנית (בכתבה): PEO IEW&S) מסייעת לצבא בהשגת יתרון המידע – תוכניות לחישה עמוקה ולעיבוד מידע רב שייאספו בשדות הקרב העתידיים. בתחרות בין המעצמות המתקדמות, הצבא צפוי להילחם במרחק רב, לרבות עם הפעלת אש יעילה (אמצעים קונבנציונליים ול"א) על פני אלפי מיילים.

המשמעות היא שנדרשת יכולת חישה רחוקה ויש כמה דוגמאות לתוכניות העוסקות בכך:

- HELEIOS (High-Altitude Extended-Range Long Endurance Intelligence Observation System) – חיישן מודיעין, סייבר ול"א היכול לטוס בגובה רב מעל שטח האויב.

ספקים שונים המספקים פתרונות מבוססי תוכנה וביצוע אינטגרציה של פתרונות שונים ע"י הממשל. תוכניות רבות הנמצאות בפיתוח נבחנות לגבי שילוב ארכיטקטורה פתוחה ביישומן. TLS שהוזכרה ומטע"ד ל"א MEW (Multi-Function Electronic Warfare) המותקן על כטב"ם MQ-1C Gray Eagle יהיו בעלי ארכיטקטורה משולבת שתאפשר שילוב בין יצרנים שונים, דבר שיאפשר לצבא שדרוג והתאמה לאיומים מתפתחים. PEO IEW&S עובדים עם פיקוד העתידים בהגדרת הגמישות הנדרשת לפרויקטים השונים כדי שהצבא לא יינעל עם השקעות/פלטפורמות קשיחות. חשוב שהדרישות יהיו מוגדרות באופן גמיש יותר, עם משוב מקהילת המשתמשים לאבות טיפוס, כדי להגדיר דרישות סופיות לרבות יכולת ההתפתחות של היכולת לאחר מכן. שיטות רכש גמישות יותר כמו middle tier acquisition, מסלול רכש תוכנה והסכמי העברה אחרים, עזרו להשקעה באבות טיפוס ועדכון הדרישות בהתאם לצרכים המתפתחים.

[כללי](#)

תתייתר אם לא תהיה השקעה בעיבוד המידע. הפרויקט המרכזי בתחום זה הוא TITAN (Tactical Intelligence Targeting Access Node), המחבר חיישנים מכל הממדים ללוחמים ומהווה מערכת משמעותית במעגל סגירת האש. TITAN תספק ארכיטקטורת חישה שתעבוד על פני מערכת השו"ב הרב ממדית החדשה של הפנטגון (Joint All-Domain Command and Control) JADC2 – מערכת שתאפשר העברת מידע ושקיפות לקבלת החלטות מהירה ויעילה יותר. צריך להיות גמיש ומותאם יותר – המהפכה ביצירת יכולות מבוססות תוכנה, מאפשרת ליריבים לפתח איומים חדשים במהירות גדולה יותר. במענה לאתגר הזה הצבא צריך לעדכן את תהליכי הרכש האיטיים שלו, המובילים לפלטפורמות מיושנות מבוססות חומרה, ולעבור גם הוא לפיתוח מהיר של יכולות מבוססות תוכנה. דוגמה ליכולת כזו היא CMOSS (C4ISR/EW) Modular Open Suite of Standards המאפשרת ארכיטקטורה פתוחה ליישום ולשדרוג מערכות.

03

צי ארה"ב מחפש פריצות דרך בתחום החומרים האנרגטיים

— 10 בספטמבר 2021

שלה, המתמקד בנשק היפרסוני ותחמושת אחרת. השותפות בין האגף הראשי של מרכז הלחימה הימית לבין קונסורציום החימוש הלאומי (The) National Armaments Consortium, הנקראת Naval Energetic Systems and Technologies, או NEST, פרסמה לאחרונה

[US Navy, seeking energetics breakthroughs, releases new requirements](#)

שותפות ציבורית-פרטית המתמקדת בהצאת פריצות דרך טכנולוגיות בתחום החומרים האנרגטיים פרסמה את מסמך הדרישות הראשון שלה, המתמקד בנשק היפרסוני ותחמושת

אנרגטיקה, שהיא חלק כה מרכזי בתחמושת ונשק קונבנציונלי אחר. החברה משתמשת ב"סמכות העסקה האחרת" הגמישה והלא-מסורתית כדי להטיל על יותר מ-900 חברי קונסורציום החימוש הלאומי, בתעשייה ובאקדמיה, לפתור את האתגרים הקשים ביותר שלה. לדוגמה, נושא מחקר אחד נוגע להודפים המכילים CL-20, חומר כימי בן 20 שנה, שחשיבותו בכך שאת העשן שהוא מייצר במנועי רקטות קשה לראות. המטרה היא להדגים גרסה בצפיפות גבוהה יותר של הדלק לשם הפקת טווחים ומהירויות גדולות יותר, תוך שמירה על בטיחות. בחודש שעבר אירחה NEST "אירוע שיתוף פעולה" במרילנד, שם פעלו טכנאי ומהנדסי חיל הים להציג ולדון ישירות בדרישות התוכנית שלהם. "בילינו את כל היום בהיכרות מהירות בין התעשייה שלנו לבין חברי האקדמיה והממשלה", אמר Zisette.

[כללי](#)

57 הצהרות צורך במיזמים של אב טיפוס. גורמים בקונסורציום אומרים כי השווי הכולל של הביקושים עולה ככול הנראה ל-100 מיליון דולר, כאשר כל ארבעה חודשים מתוכננים סיבובים נוספים. אנרגטיקה היא קטגוריה רחבה של חומרים המצויים במנועי רקטות וטילים, תחמושת, ראשי נפץ ושילובים. "אנחנו מסתכלים על כל המרכיבים, כמו מרעומים, ראש הקרב, כל החלקים שנכנסים למערכת של מערכות - וכאן נכנסת הטכנולוגיה פורצת הדרך", אמר Charlie Zisette, מנכ"ל הקונסורציום. "הרבה מהמיזמים האלה באמת מתמקדים בדרישות הביצועים כדי לתת יותר טווח, השפעות קטלניות יותר, או לנסות להפוך [טיל או רקטה] לקל יותר או עמיד יותר." NEST, בעלת מנדט לשש שנים, הושקה בחודש מארס על רקע החשש ממצב הבסיס התעשייתי

04 האסטרטגיה הסינית להשגת עליונות צבאית

— 17 בספטמבר 2021

[How Chinese Strategists think AI will power a military leap ahead](#)

הכתבה מציגה את האסטרטגיה הצבאית הסינית, המכתיבה תהליך של "intelligenization" כדרך להשגת עליונות צבאית, ומנגד את הצעדים שעל ארה"ב לנקוט לבלית המגמה של סין. האסטרטגים הסיניים טוענים, שבניגוד ללוחמה הקודמת שהתמקדה "במרחב הפיזי" וב"מרחב המידע", התהליכים החדשים, המבוססים על בינה מלאכותית, ירוכזו "במרחב התודעתי" ("cognitive space") עם חשיבה מורכבת והחלטות אפקטיביות.

הלוחמה המבוססת על שיתוף בין האדם והמכונה היא "לוחמה של אלגוריתמים" שמקנה "התעלות עצמית" של האדם ובכך משפרת את היכולת של הצבא לקבלת החלטות. השימוש בבינה מלאכותית יהווה בסיס בתפיסת שדה הקרב, תוך תרגום של נתונים על מטרות איכות להחלטות המפקדים. האסטרטגים הצבאיים של סין רואים את העתיד במערכות אוטונומיות שיחליפו חיילים. המרחב האווירי מבטיח את הפוטנציאל הגדול ביותר של שימוש במערכות אוטונומיות: הרחפנים ישתלבו בלוחמה גם ככלים אוטונומיים

- ב. במקרה כזה הבדלים דקים ביישום המבצעי במיוחד ע"י פיקוד משימתי של הכוחות המאוחדים, עם רשתות תקשורת מעולות, עשויים להעניק יתרון מסוים לארה"ב. לכן על ארה"ב להגביר ההשקעות בטכנולוגיות של פיקוד ובקרה –C2 ובהיבטים ארגוניים.
- ב. על ארה"ב למקד את המאמץ לתקיפת החולשות של מערכות התקשורת, הפיקוד והבקרה (C2) של האויב. מגמת האסטרטגיה החדשה של סין היא לבנות תהליך מרכזי-צנטרליסטי של הפיקוד הצבאי ובכך פגיעותו. לימוד יסודי של פרטי האסטרטגיה ייתן לארה"ב יתרון כלפי האויבים וגם יסייע להבנת הפגיעות העצמית וההתגוננות.
- ג. על ארה"ב להתכונן לקראת יישום של האסטרטגיה הסינית, שעלולה להעצים את הפגיעות שלה בלחימה ע"י הטעיה בהתמצאות ובמידע, הונאה וכיו"ב.
- לסיכום: לימוד יסודי של האסטרטגיה והחלטות אמיצות ואפקטיביות, חיוניים לקראת העימות שאולי מתקרב עם סין.

[כללי](#)

שמופעלים כבודדים ע"י הלוחמים וגם כנחילים- מאסות של רחפנים אינטליגנטיים שיכריעו בשדה הקרב, לא רק ע"י השמדת האויב אלא גם ע"י לוחמה פסיכולוגית. הבינה המלאכותית תסייע למנהיגי צבא סין בעימות תודעתי "confrontation" "Cognitive מול אויביהם – על קבלת החלטות טובות ומהירות יותר וישתלטו פסיכולוגית על מפקדי האויב. הצבא הסיני מתכנן להשתמש בכל האמצעים והכלים שיעמדו לרשותו להקטנת רצונו של האויב להתנגד. בחלק השני של הכתבה מתייחסים לפעילות שעל ארה"ב לנקוט לאור האסטרטגיה הזו של הצבא הסיני. בעדיפות ראשונה יש להבין אותה, לאתר את ההיבטים החלשים בגישתם ולחזק את התחומים בהם ארה"ב חלשה.

להלן ההמלצות בתמצית:

- א. יתכן מצב בעתיד שבו, למרות הפעילות הסינית לפי האסטרטגיה ובמקביל למאמצים וההשקעות של ארה"ב, הצדדים יגיעו למצב של שוויון – לשום צד לא יהיה יתרון מוחלט.

05

תקיפת חיילים בלוב ע"י רחפן אוטונומי

— 3 ביוני 2021

טרם ביצוע התקיפה. בנוסף, לא ידוע מי הגורם שהפעיל את הכטב"ם, אך התברר משרידיו שהוא רחפן מסוג Kargu-2 (*) המיוצר ע"י חברת STM בטורקיה. לפי הדו"ח, טורקיה, או מי מטעמה, הפרו את האמברגו, שהוטל בשנת 2011, לאחר תחילת מלחמת האזרחים על מכירת נשק ללוב. לא ידוע האם המפעיל היה טורקי או

[AI drone may have 'hunted down' and killed soldiers in Libya with no human input](#)

דו"ח של האו"ם (מחודש מארס השנה) מעלה כי לפחות רחפן אוטונומי אחד (ייתכן שיותר), המבוסס על בינה מלאכותית, השתתף בתקיפת מטרות אדם בלוב ללא הרשאה מגורם אנושי

פיקסלים בודדים בתמונה יכול להוביל תוכנת AI להסיק שמדובר בתמונה אחרת לגמרי, ומכאן השאלה, אם כל כך קל לבלבל את המערכות הללו, מה יקרה בשדה הקרב כשאנשים נמצאים בסביבה מורכבת?

יש מספר שאלות מרכזיות בכל הקשור לניתוח הסיכונים בנשק אוטונומי:

א. מהו אופן קבלת ההחלטה של נשק אוטונומי בהשמדת יעד מסוים ולא יעד אחר?

ב. מהו תפקיד המפעיל האנושי בתהליך קבלת ההחלטות של נשק אוטונומי? במצבים בהם אדם מנטר/עוקב אחר ההחלטות שהנשק מקבל? האם יש לו שליטה? האם הוא יכול לבצע תיקון טרם התרחשות קטלנית (לא צפויה/מוטעית)?

ג. מהו התחום המרבי שבו מפעיל אנושי בשטח רשאי לסמוך על קבלת ההחלטות האוטונומית כדי שאסון לא יתרחש? מתי עליו להטיל חשד בהחלטות האוטונומיות?

ד. איזה מטען מועיל (רש"ק) יש לנשק האוטונומי?

ה. איך נקבעת המטרה לנשק האוטונומי? הוא עלול לטעות בזיהוי יעדים פוטנציאליים.

ו. כמה כלי נשק אוטונומיים פועלים בו זמנית? הסיכוי לכשל עולה עם כמות האמצעים האוטונומיים הפועלים בשדה הקרב; בפרט כשעולה האפשרות לפרוס נחילי מל"טים בשדה הקרב. הצבא ההודי כבר הודיע שהוא מפתח נחיל של 1,000 מל"טים, שעובדים באופן אוטונומי לחלוטין.

ז. היכן משתמשים בנשק אוטונומי? הסיכון עולה עם צפיפות האוכלוסייה השוכנת באזור בו הם נלחמים, ובפרט גם עקב הסדר שבו הכלים מתניידים בשטח (טיסה, שיוט או נסיעה). גם מזג האוויר יכול לעשות הבדל – מחקר אחד מצא כי מערכת AI המשמשת לאיתור מכשולים בכבישים, מדויקת ב- 92% במזג אוויר בהיר, אך רק ב- 58% במזג אוויר ערפילי.

ח. עד כמה הנשק האוטונומי נבדק היטב בדפוסי פעולה שונים ובאקלים קיצוני? נשק אוטונומי

מטעם ממשלת ההסכמה הלאומית הנוכחית בלוב. לדברי האחד החוקרים, הייחודיות במקרה זה הינה השילוב שבין נשק אוטונומי לבינה מלאכותית. נשק אוטונומי לכשעצמו אינו חידוש, כי למעשה גם מוקש פשוט מהווה נשק אוטונומי שמתייזם בקלות ע"י דריכה עליו ללא מעורבות מפעיל. אבל מערכות הנשק האוטונומיות המתקדמות מתוכננות לתקוף מטרות בלי צורך בקישוריות נתונים עם המפעיל שלהן. כך שלמעשה נוצרה יכולת בזמן-אמת המבוססת על שגר - שכח - ומצא מטרה. הדו"ח מציין כי בתקרית הנ"ל היו נפגעים רבים, אך לא קובע חד משמעית כי היו שם הרוגים כתוצאה מפעילות הכטב"ם.

ההשלכות של המקרה הינן כי למרות אזהרותיהם של אנשי מדע בכירים (כדוגמת סטיבן הוקינג ואלון מאסק) ודרישתם לאיסור שימוש בנשק אוטונומי בעתיד, מסתבר שכבר כעת, בהווה, זה רלוונטי וצריך לשקול כבר היום יישום כללי אתיקה וסנקציות במידת הצורך. במיוחד בעידן של ימינו כשפיתוח וייצור של נשק אוטונומי אינו מסובך במיוחד. לפיכך, צריך לבחון מספר היבטים בפיתוח בינה מלאכותית (AI) ליישומים צבאיים, מאחר שרמת המסוכנות של הכלים הללו עולה עם ההתפתחות הטכנולוגית: מערכות AI הנוכחיות תלויות לרוב בנתונים שבהם הן מוזנות בשלב האימון. לדוגמה, מכונה לרוב לא יודעת מה זה חתול או כלב, אלא אם כן היא מוזנת בתמונות של חתולים וכלבים, והמתכנת מגדיר הבחנה בתמונות של חתולים וכלבים. כך שיש סיכון משמעותי לטעויות במצבים אלה. למשל, אם נתוני האימון אינם מלאים, או שהדברים אינם פשוטים כפי שהם נראים. חייל וחקלאי עשויים ללבוש בגד דומה, או להחזיק כלי עבודה שנראה כמו נשק, אך המכונה לא תוכל להבחין ביניהם ע"י פירוש הכוונות שלהם אלא רק לפי המראה החיצוני שמושווה למאגר התמונות שהוזן לה. מערכות AI לעתים קרובות חסרות מה שבני אדם יחשיבו כ"שכל ישר". לדוגמה, מדעני מחשבים גילו ששינוי

לסיכום, המקרה הלובי עשוי להוות יריית פתיחה לאסונות אפשריים (אדם ורכוש) בגלל שימוש בנשק אוטונומי מבוסס AI, במיוחד כאשר יש פוטנציאל לריבוי כלי נשק כאלו בשדה הקרב. הסיכון רב גם בהיבטים אחרים (תחבורה, תעופה וכו'), אם השימוש אינו מבוקר ולא מוגבל לשימוש בתקנות צבאיות, אזרחיות ואתיות ברורות. רקע טכני:

הרחפן מסוג Kargu-2 הינו בעל ארבעה להבים (רוטורים) ומוגדר כמערכת חימוש מוטסת. ברגע שזוהתה מטרה ע"י מערכת הבינה המלאכותית, הוא יכול לטוס לעברה במהירות 72 קמ"ש ולהתפוצץ על היעד עם רש"ק חודר שריון או המותאם לחיסול מטרה אחרת. הרחפן מתוכנן לתקוף גם כשהקשר בין המפעיל לבינו נותק. עם זאת הדו"ח לא מציין שזה מה שאכן קרה בלוב.



[כללי](#)

שנבדק באקלים גשום עשוי לעבוד אחרת בחום המדברי.

ט. כיצד יסתגל האויב למצב ויפתח אמצעי-נגד? לדוגמה, חברת OpenAI פיתחה מערכת שיכולה לסווג תפוח ברמת סמך של 85.6%, אבל לאחר שהדביקו על הפרי פיסת נייר שעליה כתוב "iPod", התוכנה סיווגה ברמת שנבדק באקלים גשום עשוי לעבוד אחרת בחום המדברי. כיצד יסתגל האויב למצב ויפתח אמצעי-נגד? לדוגמה, חברת OpenAI פיתחה מערכת שיכולה לסווג תפוח ברמת סמך של 85.6%, אבל לאחר שהדביקו על הפרי פיסת נייר שעליה כתוב "iPod", התוכנה סיווגה ברמת סמך של 99.7% שהתפוח הינו אייפוד. יריבים פוטנציאליים עשויים למצוא דרכים דומות להטעיית נשק אוטונומי.

י. עד כמה הנשק האוטונומי הינו זמין? אם הוא יהיה זמין באופן נרחב, הוא עלול להגיע לידיים לא רצויות, כפי שציין דו"ח האו"ם, טורקיה לא הייתה אמורה להכניס את כטב"ם קארגו 2 ללוב.

06 דברים שלמדנו בכנס AUSA

— 20 באוקטובר 2021

[10 things we learned from AUSA](#)

שפע החדשות בענייני צבא שיצאו מהכנס השנתי והתערוכה של AUSA (Association of the US Army) בושינגטון, באוקטובר האחרון, הותיר את אנשי הצבא תוהים מה מכל זה הכי חשוב להם. באירוע, שהוא מאירועי הביטחון הגדולים של

השנה, בו נפגשות הקהילות הצבאיות והביטחוניות, נוכחים מנהיגים בכירים אשר מרבים להציג ולדון בתוכניות הצבא, בסוגיות ביטחון לאומי, בפיתוחים ובטכנולוגיה מתפתחת. להלן כמה מההתפתחויות המשמעותיות שלמדנו מכנס AUSA השנה. מומלץ לעיין בקישור של כל נושא.

מבצעים עירוניים: יחידת משמר לאומי בקליפורניה נוטלת את ההובלה בתכנון מבצעים עירוניים ברמת חטיבה ומעלה (ראו קישור: [A California Guard unit is taking the lead on urban ops](#)).

בימים 17-23 באוקטובר, לפחות 50 חיילים, קציני מבעלות הברית ומגיבים ראשונים ייפגשו באופן אישי לוועידה ראשונה של מתכנני מבצעים בשטחים עירוניים. עוד 50 עד 100 ייפגשו באינטרנט. הכנס מתקיים בבסיס האימונים [Joint Forces Training Base](#) של הכוחות המשותפים ב-Los Alamito, קליפורניה.

מוקשים לשימוש חוזר (ראו קישור: [The Army wants reusable, networked landmines](#)).

הצבא רוצה מוקשים שניתנים לתפעול חוזר ברשת: מהנדסי-קרב של הצבא מחפשים דרכים חדשות לפרוס "מכשולים מעצבי שטח" או מוקשים חכמים, באמצעות כלי רכב קרקעיים ארטילריים, מל"טים או רובוטים – לשדה הקרב הקרוב, הבינוני והרחוק. פלטפורמות תעופה טובות יותר, רשתות תקשורת וכלי רכב יבשתיים מאפשרים יצירת רוחב ועומק חדשים לקרבות. "עיצוב השטח" ע"י מיקוש חכם, נשלט, מונע מהאויב שימוש יעיל במערכותיו ומעביר לידי הלוחמים את השליטה בקצב הלחימה בשדה הקרב.

"מפעל התוכנה" של הצבא להכשרה מהירה של חיילים מיומנים ללוחמת סייבר (ראו קישור: [Army Software Factory to churn out soldier coders](#)). כשהצבא מתקשה לגייס עובדי סייבר מיומנים יותר, הוא מנסה להגדיל את מספרם מתוך הכישרונות הבלתי מנוצלים בשורותיו. חיילים שפועלים ב"מפעל התוכנה" של הצבא, שבסיסו ב-Austin Community College באוסטין, טקסס, הציגו ב-AUSA כמה יישומים שהם פיתחו. (בנושא זה ראו הרחבה בידיעה 61 בלקט זה).

[כללי](#)

תוכנית החימוש מחדש – ReARMM (ראו קישור: [ReARMM started](#)): הצבא מיישם מודל מוכנות חדש, הנקרא מודל המוכנות האזורית. התוכנית, שהחלה בהפעלה ראשונית באוקטובר, תגרום ליחידות לבלות שמונה חודשים כל אחת במחזור מודרניזציה-אימון-משימה, תוך הכנה לפריסה לאזור מסוים בעולם.

טיל תקיפה מדויק: (ראו קישור: [Precision Strike Missile gets green light for development](#)): תוכנית הפיתוח של טיל כזה קיבלה אור ירוק. הצבא אישר לעבור לשלב הפיתוח ההנדסי והייצור, רגע לפני ניסוי גדול בבסיס [Vandenberg Space Force Base](#), קליפורניה, שם ישוגר הטיל לבדיקת הטווח שלו.

פרויקט התכנסות המפרט כיצד צבא ארה"ב מתכונן למלחמה בעשור הבא, עשוי לצאת גם אל מחוץ לארה"ב.

(ראו קישור: [Project Convergence](#) וכן: [Project Convergence may go overseas](#)). הדגמת הפרויקט הראשונה התרחשה בסוף הקיץ ובתחילת הסתיו 2020 ב-Yuma Proving Ground, אריזונה. השנה יגיעו להשתתף יחידות צבא מבצעיות וניסיוניות, כולל האוגדה המוטסת 82 בפורט בראג, צפון קרוליינה, וצוות המשימה הרב תחומי הראשון בבסיס המשותף Lewis-McChord במדינת וושינגטון. גנרל Charles Flynn, ראש פיקוד האוקיינוס השקט של צבא ארה"ב, אמר ב-30 בספטמבר שהוא רוצה לראות בסופו של דבר חלק מפרויקט ההתכנסות מתרחש באזור שלו.

הצבא מתכונן לפרסם את אסטרטגיית האקלים שלו (ראו קישור: [The Army is preparing to release its climate strategy](#)). הפרסום יהיה בסתיו הקרוב, והוא צפוי לקדם את הצבא להסתגל למצבים הצפויים כך שיוכל לפעול ולהגן על עצמו מפני סביבות קשות יותר ויותר, ובמקביל גם להפוך ליותר יעיל אנרגטית.

הפנטגון מגדיר מחדש עדיפויות במו"פ

11 באוקטובר 2021

[Pentagon's Top Science Official Adds to Tech-Breakthrough Wishlist](#)

Heidi Shyn, הסגנית החדשה של שר ההגנה האמריקני למחקר והנדסה, החליטה לבדוק מחדש את הדגשים והעדיפויות במחקר, פיתוח והנדסה ולקבוע גישות חדשות לנושאים השונים. למרות שהניחה בתחילה שניתן לצמצם את הרשימה של הנושאים התברר לה שיש להגדילה. הרקע כמובן הוא התחרות הטכנולוגית-הצבאית עם סין. השינויים בעדיפויות מהווים גם אתגר לא פשוט לתעשייה הביטחונית שמתאימה את השקעותיה לפי העדיפויות המוכתבות ע"י הלקוח ומעדיפה להשקיע מאמץ במוצרים ופרויקטים קיימים על פני עבודה של פריצות דרך טכנולוגיות - מדעיות.

סגנית השר הדגישה שבמצב הנוכחי בכל תוכנית של מערכת נשק חדשה מוקדשים רק 30% מההשקעות בפיתוח והצטיידות ואילו 70% מושקעים בתחזוקתה בהמשך. לדעתה יש להפוך נוסחה זו.

להלן הדגשים שציינה:

א. נשק היפרסוני

התקציב המבוקש לשנת 2022 הוא 2,865 מיליארד דולר, לפיתוח המערכת עבור כל הזרועות. הדוברת מתכוונת לצמצם את מספר הפרויקטים המבוצעים ולמקד את הפעילות על הבולטים והמבטיחים בלבד (מבחינת

סיכויי הצלחה). מקווה שעם כניסה לייצור המחיר הסדרתי של המערכות ירד.

ב. בינה מלאכותית ולמידת מכונה: AI-ML התעשייה ועמק הסיליקון משקיעים מיליארדי דולרים בבינה מלאכותית, למידת מכונה AI-ML ואוטונומיה, והפנטגון צריך לנצל את הישגים שלהם לפעילות שתוביל לפלטפורמות בלתי מאוישות ואוטונומיות עמידות ובעלויות סבירות.

ג. ביטחון סייבר

העתיד של הנושא תלוי בעיקר בגילוי מהיר של איומים ופחות בחסימות firewalls. נדרשת יכולת לעבוד בשילוב של סייבר ולוחמה אלקטרונית, פעילויות להשגת מידע ותקשורת ובעיקר "לחוש" ולהגיב מהר מאד.

ד. ארכיטקטורה פתוחה

זה נושא קריטי. ארכיטקטורה פתוחה ומודולרית תאפשר להתאים מהר את הציוד והאמל"ח הקיים לתנאים חדשים שמתפתחים בלחימה ולטכנולוגיות חדשות שמופיעות בשטח האזרחי והמסחרי.

ה. מעבדים זעירים - Microprocessors

המגמה והחוקים להחזרת הייצור של אלה לארצות הברית טובים וחשובים, אבל צריך לפעול לניצול טוב יותר של האמצעים שברשותנו.

היקף הפעילות: נתונים ביומטריים של הביצועים והמצב הפיזיולוגי/בריאותי של החייל, חישת הסביבה וההתנהגות בעזרת ביוטכנולוגיה למניעת הפתעות ועוד.

ח. מוקדים חדשים New Focuses

- 1) חומרים חדשים עשויים להוות מפתח לפריצת דרך בנושאים שצוינו לעיל.
- 2) הצלחה בהעברת רעיונות משלב של קונספט ליישום מעשי ע"י שיתוף מהיר ומוקדם של הלוחמים בפרויקט של מחקר וטכנולוגיה.
- 3) יצירת רזרבה של כסף לניסיונות של הטיפול ברעיונות שנראים מבטיחים מאד. ניסיונות אלה יבוצעו בשיתוף פעולה עם כל הזרועות במטרה לבדוק באיזו מידה רעיונות כאלה משפרים את היכולת לצמצום הפערים המוגדרים ע"י הפנטגון.

[כללי](#)

פעמים רבות קורה שרוכשים מעבדים רבי ערוצים (ליבות), אך משתמשים רק בחלק קטן מהתכונות/הערוצים. מדוע לא לנצל ערוצים אלה למשל לעיבוד ברוחב פס נמוך בתחומים בהם האויבים מתחרים בתקשורת בטכנולוגיות מתקדמות. כמו כן מודגש הצורך לשימוש בחוזי תלת ממדי (3D) לאימונים, לשליטה ובקרה, לתכנון משימות, לפיקוד ועוד. דרוש לקדם הבשלה של תחום זה.

י. חלל

ממשל ביידן איננו פוסל את המגמה של מערכות נשק בחלל שמיועדות להגנה מפני טילים ומערכות רוסיות וסיניות נגד חלליות. הכול מסווג, אבל האסטרטגיה בנושא החלל תמשיך להתמקד בהצטיידות של יותר חלליות בעלות נמוכה יותר.

ז. ביוטכנולוגיה

ביוטכנולוגיה ובמיוחד חומרים מתקדמים הם המפתח למבצעים בעתיד. צריך להרחיב את

רכיב מערכת נפיצה לפינוי מוקשים מודפס בתלת-ממד

9 בספטמבר 2021

מכסה ראש מודפס בתלת-ממד על רקטה M58 לפינוי מוקשים, במהלך ניסוי. (צילום של המרינס)



על ידי הדפסת מכסה הראש, המפתחים מקווים לתת פתרון מרחוק לייצור חלקים, אך גם לחסוך זמן וכסף. הדרך שבה יצרנים בונים היום את מכסה הראש צורכת זמן וגם מחירה יקר, ציין הקצין הממונה על כך.

מכסה ראש מודפס בתלת-ממד למנוע הטיל המשמש במטען הקווי M58 (צילום: טוניה סמית)



[Marines 3D print part for mine-clearing device, then blow it up](#)

בחייל הנחתים השתמשו לאחרונה בטכנולוגיית הדפסת תלת ממד כדי לייצר מכסה ראש למנוע הרקטי של מערכת נפיצה לפינוי מוקשים, אשר בהמשך הופעלה בהצלחה. במהלך הקיץ הדפיס מנהל התוכנית לתחמושת בפיקוד חייל הנחתים את הרכיב הזה, לשימוש במטען קווי לפינוי מוקשים M58, או MICLIC (Mine Clearing Line Charge). מדובר במטען נפץ קווי המפנה נתיב התקדמות (דומה למטען קווי "צפע" של צה"ל). מכסה הראש הוא חלק מהמנוע הרקטי של המערכת, המניע ומפוצץ את המטען הקווי. המטען מפנה נתיב של ברוחב של כ-8 מטרים ובאורך של כ-110 מטרים לאורך מכשולים, במיוחד מוקשים יבשתיים. החייל השתמש ב-M58 MICLIC במשך שנים. תא"ל Lawrence Nicholson ציין באנתולוגיה של פעולות המרינס באפגניסטן (ראו בקישור: [Anthology of Marine Combat Operations](#)) בשנים 2001-2009 כי MICLIC היה נכס מרכזי להתגברות על אזורים עמוסים במטעני חבלה.

הוא ציין כי אז היו 15 מערכות כאלה בכל חייל הנחתים כולו, חמש מהן היו אז באפגניסטן, ועד אז הן מעולם לא שימשו בקרב. "1,700 ליברות (כ-770 ק"ג) של חנ"ם C4 שהפעיל MICLIC יכולים לפתוח נתיב ראוי להעברת הכוחות", אמר התא"ל.

במחנה Pendleton בקליפורניה השתמשו בהדפסה תלת-ממדית לבניית מבנה תוך 40 שעות, כך דיווח Marine Corps Times. המבנה בגודל כ-46 מ"ר נוצר במדפסת תלת ממד לבטון הגדולה בעולם ב-U.S. Army Research and Development Center.

כאשר מגיפת הקורונה השתוללה ברחבי העולם, נחתים ומלחים באוקיאנווה, יפן, השתמשו בהדפסה תלת-ממדית לייצור ציוד הגנה כגון מגיני פנים ומסגרות למסכות פנים כדי להילחם במגיפה. בגל הראשון הם ייצרו יותר מ-400 מגיני פנים ו-4,800 מסגרות למסכות פנים. ביולי דיווח Military Times כי המרינס היה החייל הראשון בצבא שקיבל שיניים מודפסות בתלת ממד במסגרת ניתוח לשחזור לסת.

[יבשה](#)

"מנוע הרקטות שוגר בדיוק כמתוכנן ומטען הקו התפוצץ כפי שהוא אמור, וזה היה רגע משמעותי עבורנו. בעתיד נרצה לנסות להדפיס את מכסה הראש בתלת-ממד כשהחרירים שלו מחוברים." הנחתים, יחד עם השירותים האחרים, נכנסו עמוק יותר להדפסה תלת ממדית עבור פריטים נחוצים, במיוחד עבור חלקים שקשה להשיג אותם וסביר להניח שהם יידרשו בשדה קרב עתידי.

כדי לתמוך במאמצים אלה, החייל יצר את התא לפעולות ייצור מתקדמות (Advanced Manufacturing Operations Cell) בשנת 2019. הוא זמין עבור נחתים הזקוקים לתמיכה בהדפסה תלת ממדית ופריטים אחרים לתחזוקה. בשנת 2018, נחתים עם כוחות משלחת ימית

רק"ם אמפיבי של נחתי ארה"ב יצויד בתותח 30 מ"מ

09

— 15 בספטמבר 2021

[BAE Systems to arm marine ACV armored combat vehicle with 30mm cannon to beef up amphibious assault](#)

רק"ם ACV הינו הכלי האמפיבי החדש של הנחתים בצבא ארה"ב. הוא מחליף את הרק"ם המיושן AAV (השימוש בו הוקפא בגלל מותם של שבעה נחתים בטביעה) ומיועד להובלת 18 נחתים מהאונייה לחוף (במהירות של 8 קשר) ולהמשך לחימה יבשתית. הרק"ם הקיים מתוכנן

עם הגנה מפני מוקשים ומטענים – תובה בצורת V ומרווח גחון גבוה, ואפשרות להמשיך בתנועה כשאחד הגלגלים נפגע בפיצוץ. עוצמת האש המקורית מבוססת על צריחון עם מקלע כבד "0.5, מופעל מבפנים. קיימת אפשרות להחליף את המקלע הנ"ל במקלע רימונים MK19.

בלי קשר לפיתוח הנ"ל פורסם בעיתונות שכל כלי הרק"ם שסופקו ע"י BAE מקורקעים באופן זמני בגלל תקלה טכנית חמורה שנתגלתה בתרגילים בים. הסיבה היא כשל במנגנון לשחרור מהיר של הוו עליו מחובר כבל הגרירה. משפחת הרק"ם האמפיבי ACV כוללת רק"ם פיקוד, רק"ם חילוץ ואחזקה והרק"ם הלוחם עם צריח כנ"ל.

[יבשה](#)

לאחרונה חייל הנחתים הזמין אצל יצרן הכלים (BAE SYSTEMS) פיתוח של התקנת צריח עם תותח 30 מ"מ. הצריח הוא 30-MCT של חברת Kongsberg מנורבגיה, אשר מורכב בזמן האחרון גם על רק"ם Stryker. ע"י תוספת זו הרק"ם ישודרג מבחינת כושר הלחימה נגד מגוון של מטרות.

סימולציה מאפשרת לאמן "צבא" רובוטים בעלי רגליים

10

— 8 באוקטובר 2021

לדברי החוקרים, הסיבה הייתה אי-דיוקים באופן שבו החיישנים תופשים את הסיביבה האמיתית, בהשוואה לסימולציה.

שימוש בבינה מלאכותית הוכח כמבטיח עבור אימון רובוטים לבצע מטלות בעולם הממשי, שקשה לנסח אותן בפקודות תוכנה, או שמחייבות סוג מסוים של אדפטציה. היכולת להתמודד עם עצמים משונים, לא מוכרים וחלקים, למשל, היא לא משהו שאפשר לכתוב בקלות בשורות של קוד תוכנה.

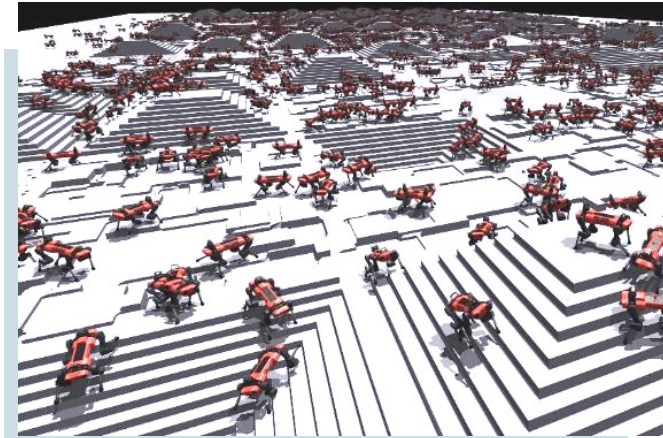
4,000 הרובוטים שבסימולציה אומנו בעזרת מה שנקרא "למידת חיזוק" (reinforcement learning) - שיטת AI השואבת השראה מהמחקר על האופן בו בעלי חיים לומדים באמצעות משוב חיובי או שלילי (השיטה ותולדותיה מתוארות בכתבה המקורית). תוך כדי כך שהרובוטים מניעים את רגליהם, האלגוריתם בודק איך זה משפיע על יכולתם ללכת, ומכוון

[These Virtual Obstacle Courses Help Real Robots Learn to Walk](#)

חוקרים במכון ETH בשווייץ בשיתוף עם חברת השבבים Nvidia פיתחו סימולציה של "צבא" הכולל 4000 רובוטים דמויי כלבים, במטרה להיעזר בה כדי לאמן אלגוריתם שיוכל לשלוט ברובוטים אמיתיים ובתנאי אמת. במסגרת הסימולציה, הרובוטים (הנקראים ANYmals) מתמודדים עם אתגרים כמו מדרון תלול או מדרגות, בסביבה ווירטואלית. בכל פעם שרובוט למד איך להתנהל מול האתגר, החוקרים הציבו בפניו אתגר עוד יותר קשה, דבר שגרם לאלגוריתם להשתכלל. רובוט ANYmal האמיתי הוא בעל 4 רגליים וגודלו ככלב גדול. יש לו חיישנים שמותקנים "בראש" וזרוע רובוטית מתפרקת. הוא מסוגל לנווט את דרכו במדרגות ובסביבת בלוקים, אבל נתקל בבעיות בתנועה מהירה יותר.

סרטון: <https://youtu.be/8sO7VS3q8d0>

A simulation with more than 4,000 virtual robots helped teach a real robot how to climb and descend steps. COURTESY OF NVIDIA



את אלגוריתמי הבקרה בהתאם. הסימולציות רצו על שבבי AI מיוחדים של Nvidia, ולא על שבבים המשמשים למטרות כלליות במחשבים. כתוצאה מכך היה אפשר לאמן את הרובוטים בעשירית מהזמן הנדרש לכך בדרך כלל.

[יבשה](#)

11 רובה מדויק שניתן להתקינו על "כלב רובוטי"

— 13 באוקטובר 2021

[Robot dogs don't look as cute with night-vision sniper rifles on board](#)

בדייקנות במטרה ממרחק של 1.2 ק"מ, ביום ובלילה. אפשר לראות אותו בתמונה כשהוא מותקן על הרובוט Vision-60 של חברת Ghost Robotics.

חברת Sword Defense Systems הציגה רובה מדויק שמיועד לרובוטים בעלי ארבע רגליים ("כלבים רובוטיים"). הרובה נקרא SPUR (Special Purpose Unmanned Rifle) והוא יכול לפגוע

Ghost Robotics presented a back-mounted gun attachment by Sword Defense Systems for its Vision 60 robot at the NDIA Future Force Capabilities expo in Georgia



התחמושת היא Creedmoor 6.5 mm או 7.62 x 51 mm NATO. לרובה יש ציפוי קראמי המקשה על גילוי בעזרת מיכשור ראיית לילה. בשלב זה אין אינדיקציה שהמערכת תהיה אוטונומית לחלוטין.

חברת Ghost Robotics הציגה את הרובה כאחד המטעדים האפשריים עבור הרובוט.

[יבשה](#)

12

נורתרופ-גרומן הציגה רכב רובוטי גדול עם תותח 30 מ"מ

— 7 באוקטובר 2021

[Northrop Grumman shows massive combat drone in action](#)

בירי נעשה שימוש בפגזי 30X173 מ"מ מסוג NG1170W של נורתרופ-גרומן. אלה הם קליעים חודרי שריון המיוצבים באמצעות סנפירים Armor Piercing Fin Stabilized Discarding Sabot (APFSDS). בסרטון מוצגת חדירה של לוח פלדה.

הרכב, שמשקלו העצמי כ-3,100 ק"ג ואשר יכול לשאת מטען מועיל נוסף של 3,250 ק"ג, פותח על ידי חברת פראט-מילר שנעזרה בשותפים כדי לפתח את היכולת האוטונומית ואת מערכת הניווט המתקדמת.

חברת נורתרופ-גרומן פרסמה סרטון שבו הציגה כלי לחימה רובוטי גדול בפעולה. הסרטון מציג הדגמה של ירי אש חיה שבוצעה במסגרת כנס של משתמשי התותח Bushmaster של החברה. הרכב המוצג בסרטון הוא EMAMV-MCA (Expeditionary Modular Autonomous Vehicle- Medium Caliber Armament) של חברת פראט-מילר, שעליו הותקן צריח עם התותח XM813 Bushmaster Chain Gun.

סרטון: <https://youtu.be/Wc1LOefSDPI>



לכלי מערכת כוח היברידית שיכולה להניעו במהירות מרבית של 72.5 קמ"ש ולפעול באופן חשמלי מלא כאשר נדרשת פעולה שקטה. לכלי זחלים רציפים שמאפשרים טיפוס בשיפוע של 60%, לנוע בשיפוע צד של 40% ולעלות על מדרגה אנכית שגובהה עד 61 ס"מ. רוחבו הצר של הכלי מאפשר להטיסו במסוקי צ'ינוק או במטוסי ההמראה האנכית V-22.

13

ג'נרל דיינמיקס: משפחה חדשה של רק"ם רובוטי

— 7 באוקטובר 2021

[General Dynamics to unveil new class of robotic combat vehicles at AUSA](#)

היכולות הבסיסיות של המערכת מבוססות על משאבי חישוב המבצעים היתוך מידע מחיישנים ועיבודו וכן ניהול ההספק החשמלי של הרכב. הביצועים, על פי החברה, הם חסרי תקדים ביחס לממדים, משקל, צריכת ההספק והעלות של המערכת (SWAP-C). הכלים שיוצגו כוללים כלי לחימה רובוטי וכן כלי זחלי נוסף במשקל 10 טון - Tracked Robot 10-ton (TRX). בכלים אלה שולבה בינה מלאכותית כבר בשלב התכנון והפיתוח. הם מבוססים על חומרים מתקדמים וקלי משקל ומערכת הנעה היברידית-חשמלית. ל-TRX כושר נשיאה משמעותי שמאפשר לו לשאת מטענים מסוגים שונים ולבצע משימות רבות במסגרת שיתוף פעולה של כלים מאוישים ורובוטיים. בתמונה המוצגת הוא נראה מעלה רב-להב קשור לצרכי תצפית ואיתור מטרות.

חברת ג'נרל דיינמיקס תציג בתערוכת AUSA משפחה חדשה של כלי לחימה רובוטיים בגודל בינוני (Robotic Combat Vehicle-Medium RCV-M). לכלים אלה יש ארכיטקטורה מודולרית ופתוחה חדשה, שמאפשרת יכולות גידול בחומרה ובתוכנה לדורות חדשים של כלי רכב. הארכיטקטורה, הקרויה Katalyst Next (NGEA), מאפשרת ניידות טובה יותר (באמצעות זיהוי מכשולים ותכנון מסלול משופרים), קטלניות משופרת (באמצעות גילוי, סיווג, זיהוי ותיעוד אוטומטיים של מטרות) ושרידות (באמצעות מודעות מצבית של 360 מעלות, ניתוח פני השטח ועוד).

משימות נוספות יכולות לכלול אש ישירה ובלתי ישירה, פעולה נגד כטב"מים של היריב, לוחמה אלקטרונית וסיור מודיעיני.



[יבשה](#)

14 בקוריאה הדרומית נחשף רכב קרבי רובוטי חדש

— 16 באוקטובר 2021

[South Korean arms maker reveals new robotic combat vehicle](#)

הרכב עומד להיבחן בחודשים הקרובים בצבא הקוריאני, לבדיקת אפשרות של הצטיידות רחבה בו.

ביצועים: הרכב יוכל לשאת מטען של 500 ק"ג, הוא בעל משקל של 2 טון, ינוע בהנעה חשמלית עם טווח נסיעה של 100 ק"מ, ומהירות נסיעה של עד 40 קמ"ש על כביש סלול, או 20 קמ"ש בתנאי שטח.

יצרנית הנשק הקוריאנית "Hanwha Defense" חושפת את רכב הלחימה הרובוטי שלה בתערוכת הנשק בסיאול, ADEX 2021. הרכב נקרא I-UGV. הוא גלגלי 6X6, ויהיה בעל יכולות עבירות משופרות לעומת דגמים קודמים של החברה (בין היתר בגלל תוספת 2 גלגלים).



יבשה

הכלי משתמש באלגוריתמיקה מתקדמת שמאפשרת לו לפעול מרחוק גם באופן אוטונומי, ולבצע בצורה כזאת מגוון משימות – מלוגיסטיקה ועד תקיפה. התקיפה מתאפשרת בעזרת כנת נשק אוטומטית – אוטונומית. מערכת הנשק מצוידת בגלאים אקוסטיים לגילוי מקורות ירי, ומערכת נעילה אוטומטית משלימה את סגירת מעגל האש האוטונומית.

15

מערכות לניטור מצב גופני תורמות למוכנות מבצעית

— 11 באוקטובר 2021

[This Army program prevented a disease outbreak in a unit deploying to Afghanistan](#)

תוכנית ניסיונית של הצבא האמריקני (MASTR-E Measuring and Advancing Soldier Tactical Readiness and Effectiveness) עוקבת אחר התפקוד של חיילים באימונים וגם בפעילות מבצעית באמצעות חיישנים המודדים דופק, קצב נשימה, טמפרטורת גוף וצריכת נזלים ומזון. החיישנים בהם נעשה שימוש, למרות שניתן לעבוד גם עם אחרים, הם [Oura Ring](#) למדידת פעילות ושינה, [RediBand](#) לחיזוי עייפות/התאוששות, ושעון חכם [Polar Grit X](#) למדידת מאמץ. בנוסף מבוקרים באמצעות שאלונים יומיים אישיים ואיסוף מידע בטאבלט: עומס נשיאת ציוד, ביצועים, תזונה, שימוש בציוד, דיווח פציעות, יכולת ניווט, זמני התאוששות וביו-מכניקה.

כך מנסים להבין טוב יותר את מצב הכשירות של הכוח והשפעת עייפות, אפילו עייפות קיצונית, על ביצועיו. מפקדים מקבלים ריכוז של המידע – מדדי כשירות של היחידה, אך ללא המידע האישי של החיילים ושמותיהם.

השימוש בחיישנים היה פשוט לחיילים המכירים טכנולוגיה חכמה. הבעיה העיקרית היא עקביות, היות והתוכנית וולונטרית. 600 חיילים התנדבו אולם רק 100 העבירו את המידע הנאסף ומילאו בעקביות את השאלונים.

גדוד חי"ר קיבל את החיישנים באוגוסט 2020. כחודש לפני הצבה לשירות באפגניסטן חלה עלייה חשודה בקצב הלב שהתגלתה אצל כמה חיילים והביאה לבדיקות רפואיות שגילו זיהום סטרפטוקוקוס. הגילוי המוקדם מנע הדבקה משמעותית יותר ופגיעה בכשירות היחידה. מאוחר יותר, בזמן השלמת האימון לפני התעסוקה, מפקד היחידה קיבל אינדיקציה על עצמו – מחסור קיצוני בשינה שפגע בתפקודו.

מובילים ליעד של התוכנית – בריאות וכשירות טובה יותר של היחידות. המידע המופק מאפשר התערבות הפיקוד כדי לשפר שינה, תזונה, צריכת נוזלים, והתאוששות לאחר מאמץ. המידע מאפשר לדעת איזו יחידה כשירה יותר בזמן נתון, ומאפשר הטלת משימה מבצעית תואמת, הן ברמת היחידה והן ברמת תפקידי החיילים.

[יבשה](#)

הוא עדכן את מתווה השינה שלו כדי לתקן את המצב (למשל הימנעות מאכילה לפני שינה לשיפור ההירדמות). הפרעת שינה שהתגלתה באחד החיילים באפגניסטן הצביעה לאחר בירור על בעיה נפשית – נטייה לאובדנות. החייל הוטס לטיפול רפואי מתאים. שינה טובה, מוחות בריאים ומעקב בריאות

16

"תג חכם" יסייע לחיילים בשדה הקרב

— 4 באוקטובר 2021

['Smart Dog Tags' Could Help Soldiers Monitor Chaotic Battlefields](#)

טכנולוגיה מתקדמת של אמצעים לבישים של חברת NextFlex תאפשר לשמור על תקשורת רציפה עם החיילים ותסייע למעקב אחר מצב בריאותם.

ניתן יהיה לפקח בזמן אמת, באופן אוטומטי וללא הפרעה, על הנתונים הרפואיים האישיים שיועברו אל הגורמים המוסמכים, בהסתמך על ההיסטוריה הרפואית של כל חייל. מדובר על תג אלקטרוני קטן, גמיש וקל משקל, המתאים להשתלבות עם הביגוד. המכשיר מבוסס על תקשורת בתדרי רדיו ומתממשק עם חיישנים לבישים ומוטמעים, בעלי יכולת איסוף מידע רפואי, כגון: סימני חיות, מצבי לחץ, פגיעות חום/קור, נתונים סביבתיים מקומיים וסימני עייפות.

בנוסף, המכשיר יכול לשמש גם ככלי איסוף והפצת מידע אודות שדה הקרב עצמו.

למשל, חיישן לזיהוי ירי, כך שבינה מלאכותית תוכל להשתמש בדיווחים המתקבלים ממספר חיילים בו זמנית על מנת לחשב את מיקום מקור אש של האויב, וגם לזהות את סוגו, וכך להתריע למפקדים עוד לפני שיקבלו דיווח מילולי מהחיילים.

הטכנולוגיה הלבישה תאפשר שינוי באופן שבו חיילים מדווחים על מידע. כיום, העדכונים ברובם הם בדיווחים מילוליים שמעצם טבעם מוגבלים. בעתיד, טכנולוגיה לבישה עשויה לשפר את התהליך. יחידה עם מכשירים כאלה, המדווחים על עייפות רבה או על רמות מתח גבוהות, תתוגבר או תוחלף באחרת. דיווחים מרובים על פיצוצים וסימני פגיעות ממכשירים לבישים יזרזו הכנסת יחידות רפואיות לכוננות מיידית לקבלת נפגעים רבים. טכנולוגיה זו, ובמיוחד בשילוב עם בינה מלאכותית, יכולה להועיל מאוד לשרידות של חיילים קרביים ולשפר את יכולתם בשדה הקרב - מעין משגיח שקט השומר עליהם כיחידים או כצוות בשטח.

The MDO wearable is imprinted upon a fatigue shirt. The device acts like a central hub for other sensors, collecting and then sending important soldier data to commanders.

[יבשה](#)



17

צי ארה"ב יפתח נשק אישי מבוסס לייזר

— 8 באוקטובר 2021

[The Navy's Next Laser Weapon Is Basically a Real-Life Ray Gun](#)

הלייזרים הנ"ל מתאפיינים בקרן אור ממוקדת, היכולה לחמם במהירות את המבנה החיצוני (למשל כנף במקרה של מל"ט בעל כנף קבועה, או התכה של זרוע התומכת במדחף, במקרה של רחפן) ולגרום לכשל מבני, מה שמוביל להתרסקותו. לחילופין, לייזר יכול גם להצית את מערכת הדלק הנוזלי או לסנוור את החיישנים האופטיים (כגון חיישני חישה או הנחייה).

ללייזר יש יתרונות על פני כלי נשק אחרים מכיוון שה"קליעים" שלו נעים במהירות האור והם אינם מושפעים מכוח הכבידה, לעומת קליעים בליסטיים. הם ניזונים מאנרגיה חשמלית ולא מחומרי נפץ הודפים.

משרד ההגנה האמריקני הוציא חוזה לפיתוח מערכת נשק לייזר "קומפקטית וניידת". במילים אחרות, מדובר על אקדח או רובה נייד המבוסס על קרן לייזר עם אנרגיה גבוהה, המיועד להפלת מל"טים: C-UAS HELWS - Counter-Unmanned Air Systems High Energy Laser Weapon MZA System. התאגיד הזוכה במכרז הינו Associates (ניו מקסיקו) שיבצע תכנון, פיתוח וייצור (R&D) בעלות של 18.7 מיליון דולר. הפרויקט עתיד להסתיים בשנים 2023-2025. למרות שהיישום עדיין רחוק מאקדחי קרניים הפופולאריים במדע בדיוני, C-UAS HELWS אכן ממחיש מגמה של מזעור של נשק לייזר, המתאפשר על ידי מחקר ופיתוח במימון ממשלתי.

משערים שלייזר בהספק של 10 קילוואט יכול להיות דומה, בהיבטי גודל ומשקל, למקלע 0.50, ובמשקל של כ-45 ק"ג. הוא יכול להיות ממוזער מספיק להתאמה להתקנה על רכב צבאי קל, ואפילו על סירות סיור קטנות בנתיבי הים והחופים.

חשוב לציין שלמרות שהנשק הנ"ל אינו בעל עוצמה גבוהה מאוד, הוא בעל אמינות גבוהה, נוח וקומפקטי, ועלותו נמוכה יחסית. סביר להניח שלא נראה נשק כף-יד בקרוב, אך פריצת דרך בטכנולוגיית אחסון אנרגיה עשויה לקדם אפשרויות חדשות בתחום נשק הלייזר ממוזער.

[יבשה](#)

מערכת גדולה יותר של נשק לייזר LaWS - Laser (Weapon System) AN/SEQ-3 היא בעלת הספק של 30 קילוואט, גם היא לשימושי נגד מל"טים. היה זה נשק הלייזר האמריקני המבצעי הראשון, שהותקן לניסויים עוד בשנת 2014 על ספינת מטען (USS Ponce). באחרונה פותחו לייזרים קטנים יותר, שמתאימים להתקנה על רכבי לחימה, כגון סטרייקר. מערכת להגנה אווירית לטווח קצר (DE M-SHORAD) קטנה יותר בממדים מ-LaWS ובעלת עוצמה גבוהה יותר ב-60 אחוזים. הלייזר החדש, המתוכנן עבור הצי, עתיד לקטון משמעותית בממדיו.

18

חייל ההנדסה האמריקני שואף לשפר יכולת מיקוש חכם

— 13 באוקטובר 2021

מערכות המיקוש הקיימות משנות ה-80 מתיישנות ואינן עונות על הצרכים העתידיים. חייל ההנדסה מבקש לבחון שיטות חדשות לפזר בשטחי לחימה מכשולים כמו מוקשים ע"י מגוון שיטות פיזור. אמצעי הפיזור הנבחרים כיום הם: ירי ארטילרי, רחפנים ורובוטים קרקעיים, אשר יפיצו את המיקוש בכל ספקטרום הטווחים: קצר, בינוני וארוך.

מפקד חייל ההנדסה ציין לאחרונה כי שיפור יכולת הפיזור נמצא בעדיפות הראשונה של החייל. היכולת לעכב את כוחות האויב הקרקעיים מונעת ממנו את היכולת לשמור על קצב הלחימה והתנועה, ובכך מצמצמת את

[The Army wants reusable, networked landmines](#)

<https://www.armytimes.com/news/2021/10/13/the-army-wants-reusable-networked-landmines/>

חייל ההנדסה של צבא ארה"ב רואה את "עיצוב שטח הלחימה" כעדיפות עליונה בתוכניות המודרניזציה. היכולת "לעצב את השטח" בשדה הקרב מונעת מהאויב הפעלה יעילה של כוחותיו ומאפשרת לקבוע מהלכים וקצב הכרעה של כוחותינו.

למערכות החדשות שבפיתוח יהיו ניידות/יבילות טובה יותר; אופציות שונות לפיזור/הנחה, חימוש אחיד בכל סוגי הפלטפורמות, שיזור עצמי וקליטה לצורך נטרול ופיצוץ עצמי, אפשרות לשימוש חוזר. חושבים גם על שיבוש של תדרי רדיו למניעת הפעלה ע"י האויב. מתבצעים ניסויים במערכת חדשה XM204 שהינה הגרסה המתקדמת של מערכת Scorpion XM1100. כמו כן מזכירים את הפרסום על פתרון של השמדת טנקים ע"י אמצעי בגודל של מזוודה ע"י חייל בודד: Suitcase sized tank killer.

חיילים מתאמנים במערכת Volcano המותקנת על מסוק בלקהוק (Army)



Soldiers from the 25th Combat Aviation Brigade train with the Volcano system on a UH-60 Blackhawk at Makua Range, Hawaii, June 23, 2020. (Net. Sarah D. Sauersteiner/Army)

[יבשה](#)

יכולות התמרון של האויב. מפקד ביה"ס להנדסה ציין באחד מהכנסים כי מזה 20 שנה לא היה שימוש באמצעי פיזור מוקשים וכיום מרביתם מגיעים לסף פג תוקף ומיועדים להוצאה משימוש. מאז שנות השמונים היו בשימוש שתי מערכות לפיזור מוקשים נגד אדם ונגד טנקים: Gator ו-Volcano. הוולקנו הופעל ממסוק בלק הוק ויצר שדה מוקשים של 1,000 רגל (330 מ') בפחות מדקה. כיום פועלים לפיתוח הדורות המתקדמים של מפזרי מוקשים. המערכות האלו יהיו בעלות כמות גדולה של מוקשים לפיזור, עם יכולות לדרוך את המוקשים בזמן ההטמנה או לנטרלם מרחוק, וכן יכולת להשמיד את המוקשים לכשיידרש. השאיפה כיום לשלב בין מוקשים הפועלים בתקיפה עילית ובתקיפה תחתית (מהקרקע). שיטות אלו יאפשרו לייצר מכשול מורכב, שלאויב יהיה קשה מאד להתגבר עליו. עוד נאמר כי בין המוקשים עם היכולות הקינטית (פיצוץ / רסס) ישולבו מוקשים ללוחמה אלקטרונית. אלו נועדו לשבש את יכולות השידור של כוחות האויב שינסו לנטרל או לשבש, באמצעים אלקטרוניים, את המוקשים המוטמנים. תוכנית הפיתוח של המערכות המשולבות צפויה להיבחן בשנת 2026 והצטיידות מתוכננת ל-2029.

19

צבא אוסטרליה בוחן אופניים חשמליים

— 13 באוקטובר 2021

[Australian soldiers testing stealthy e-bikes for scouting missions](#)

צוותים מחייל הרגלים האוסטרלי הרכוב בוחנים שימוש באופניים חשמליים למבצעים מיוחדים שקטים. לאופניים החשמליים מהירות מקסימלית של 88 קמ"ש וטווח של כ-100 ק"מ,

מקור: Australian Defence Force



[יבשה](#)

כלומר האופניים יכולים לעבור טווח של כ-45 ק"מ בחצי שעה ולחזור לפני התרוקנות הסוללה. גם לאחר התרוקנותה, ניתן להמשיך בנסיעה ע"י הדושות.

עם טווח נסיעה כזה ופרופיל עבודה שקט הודות למנוע החשמלי, האופניים יכולים לעבוד גם כ"שליחים" בשדה הקרב. החתימה של האופניים ממוזערת בגלל שהם צורכים פחות אנרגיה, פחות רועשים ולא מעלים הרבה אבק שיכול להתגלות ע"י האויב. בכך אופניים הרבה יותר אפקטיביים מאופנוע. כמו כן, השימוש באופניים חשמליים מאפשר כיסוי שטח נרחב יותר במהירות למשימות סיור ואיסוף מידע.

צבא ארה"ב מעכב יישום משקף IVAS

20

— 19 באוקטובר 2021

[Army Delays IVAS Display Headset by a Year](#)

נודע שהתגלו בעיות עם שדה הראייה הרחב מאוד של המשקף החכם. לאחרונה פורסם שצבא ארה"ב מעכב בחינה והכנסה לשימוש של המשקף - אמצעי הראייה החדש, הכולל יכולת של מציאות מתוגברת (AR- Augmented Reality) בגלל שמבצעים שינויים לשיפור המערכת. מערכת IVAS-מערכת משולבת להגברת תצוגה Integrated Visual Augmentation System עומדת בראש רשימת העדיפות של הצבא להצטיידות. IVAS היא מערכת תצוגה-עילית (heads-up display) המאפשרת לחיילים לצפות גם בווידיאו או נתונים אחרים המגיעים מהרשת.

בהודעה שיצאה לאחרונה הסתייגו בצבא מהידיעה שפורסמה על ידי Janes שבה נטען שהצבא עצר את התוכנית. לדברי גורמים בכירים, בתוכנית יש רק עיכוב. בכירים מהצבא הודיעו לקונגרס במאי שהיחידות הראשונות של המשקף יגיעו לשטח בסוף השנה. בהודעה שפורסמה לאחרונה נאמר שהבדיקות התפעוליות יתקיימו מעכשיו עד מאי 2022 ופריסת המערכות בשטח תקרה רק בספטמבר 2022.

למשקף הנוכחי יש שדה ראייה רחב של 80 מעלות, כפול ממערכות הקיימות כיום.

בהודעה גם נאמר שסיכון מחושב וגם זמן שמיועד לשינויים נלקחו בחשבון בתהליכי העבודה והינם קריטיים לפעילות הצבא בתהליכי שדרוג מערכותיו. בכנס AUSA שנערך השנה ציין הצבא שעליו לקבל מיזם מסוימת של סיכון בתחילת התהליך. אחרת, לעולם לא יצליח לעמוד בקצב השינויים הנדרש כדי להשיג ולקיים יתרון בפעולות רב תחומיות (multi-domain operations).

(USArmy)



[יבשה](#)

אבל יש בו מספר פגמים. בהודעה שפורסמה נאמר שכדי להגיע ל-80 מעלות, IVAS נמצאת בקצה הגבול של היכולות הטכנולוגיות של waveguides. על ידי צמצום מועט ברוחב שדה הראייה, הצליחו המפתחים לשפר את האיכות וצלילות הראייה.

Janes גם דיווח שמבקר המערכת של הפנטגון מבצע בדיקה של התוכנית כדי לקבוע האם בכירי הצבא דואגים לייצר ולהפיץ בשטח מערכות IVAS העונות ליכולות הנדרשות ולדרישות המשתמש. הצבא כבר עובד שנים עם Microsoft על פיתוח המערכת המבוססת על טכנולוגיית משקף Hololens של החברה. לאחר מאמץ של שנתיים העניק הצבא ל-Microsoft חוזה על סך 21.88 מיליארד דולר לייצר ולפרוס את המערכות במהלך 10 שנים. בהודעה של הצבא נאמר שהעיקוב לא ישפיע על החוזה ופריסת המערכות בשטח תהייה מהירה ב-6 עד 10 שנים לעומת התהליך הרגיל של פיתוח ופריסת מערכות.

מכ"ם רב משימתי
חדש

21

— 7 באוקטובר 2021

[Thales Unveils GO20 MM Radar](#)

חברת Thales חשפה מכ"ם רב משימתי (MMR) נייד חדש GO20 MM למשימות עקיבה וגילוי סימולטני של מטרות קרקעיות ואוויריות ברום נמוך.

המכ"ם יעיל במיוחד בגילוי כטב"ם כולל מיקרו-כטב"ם. זהו מכ"ם מסתובב תלת-ממדי בטכנולוגיית AESA ובתחום תדר X, והוא בעל טווח מכשור (החזר

מכ"ם רב משימתי GO20 MM. מקור: Thales



[יבשה](#)

אקו) של 15 ק"מ ויכולת גילוי של מיקרו כטב"ם במרחק של 5 ק"מ. למכ"ם יש מוד בודד שמאפשר גילוי, עקיבה וסיווג אוטומטיים של ספקטרום האיומים הפועלים ברום הנמוך – מסוקים, כטב"מים, כלי רכב ובני אדם, תוך שימוש בתוכנת סיווג מטרות אוטומטית המבטיחה גילוי מוקדם וזמן תגובה טוב יותר. למכ"ם נייזות גבוהה ופריסה מהירה. משקל המערכת המלאה הוא 67 ק"ג וניתן לחלקה לשני מטענים נפרדים או להרכבה על משאית או מסוק. ניתן להקים את המערכת תוך חמש דקות ע"י שני מפעילים. לניטור המערכת נדרש מפעיל מיומן יחיד. ערכת האנרגיה של המערכת מאפשרת הפעלה של המכ"ם במשך חמש שעות ללא צורך במקור כוח חיצוני. יכולת זו מאפשרת הפעלה שקטה מבחינה אקוסטית ומתן הגנה לכוחות ותשתיות.

22

כותבים עלינו: כוונת ממוחשבת לנשק קל נגד רחפנים

— 5 באוקטובר 2021

[Computerized Rifle Sights to Be Tested by Navy and Marines for Drone Defense](#)

חייל הנחתים האמריקני רוכש מספר כוונות אופטיות ממוחשבות לנשק קל מתוצרת החברה הישראלית Smart Shooter.

מדובר במספר לא ידוע של כוונות מסוג SMASH 2000 המאפשרות פגיעה מדויקת במטרות נעות. גם הצי האמריקני רוכש כוונות כאלה כדי לבחון שימוש בהן על ספינות. הרכש מבוצע במסגרת שתי תוכניות הערכת ביצועים שנועדו לבחון, בעיקר, התגוננות בפני רחפנים רכי-להב.

האלה בסוריה מול מטרות שנתלו מתחת רבי-
להב (ראו תמונה).
הכוונות הותקנו שם על רובי M4A1. לא פורסמו
תוצאות הבדיקה אך במארס השנה הודיעה
החברה כי היא מפתחת עבור משרד ההגנה
האמריקני כוונת חדשה המבוססת על SMASH
2000 במסגרת תוכנית הקרויה Individual
Weapon Overmatch Optic (IWOO).

הכוונת כוללת מצלמה, מד טווח ומעבד המפעיל
אלגוריתמים המסוגלים לעקוב אחר מטרה
ולסמן למפעיל לאן לכוון, תוך לחיצה מתמדת על
ההדק. הנשק יורה רק כאשר סמן הצלב מתלכד
עם המטרה המסומנת.
בשנה שעברה התפרסמו צילומים של לוחמי
כוחות מיוחדים אמריקנים שבחנו את הכוונות

[יבשה](#)

אוויר והגנ"א

לדברי החברה סיכוני הפיתוח הוקטנו משמעותית בעקבות ניסויי מנהרה והטסת דגם מוקטן. נתוני Aero2 יפורסמו במועד אחר.



Source: Press Release



[אוויר והגנא](#)

חברת BAE Systems הודיעה על קידום תכן וניסויים של מטוס צבאי חדיש המתבסס על טכנולוגיות בקרת זרימה אקטיבית

23

נתוני המטוס החדיש Aero3

— 25 באוגוסט 2021

[Dufour Aerospace Aero3 Tilt-Wing eVTOL
Flagship Aircraft](#)

חברת Dufour Aerospace בשווייץ פרסמה נתונים של המטוס החדיש Aero3 הנמצא בפיתוח. המטוס מיועד לבצע את כל המשימות המבצעיות המבוצעות כיום ע"י מסוקים, עם ביצועים משופרים בנושאי טווח, נפח ומשקל מטען מועיל. התצורה מבוססת על כטב"ם דגם מוקטן Aero2 שהוטס בשנת 2020. המטוס יהיה בתצורות 6 או 8 נוסעים, עם דלתות רחבות להטענת מטענים או פינוי פצועים. מהירות שיוט 350 קמ"ש (189 קשר) וטווח 1,020 ק"מ (551 מייל ימי). בעל יכולת המראה ונחיתה אנכית VTOL. הנעה ע"י 8 מנועים חשמליים, 6 בכנפיים עם אפשרות הטיה, וכן 2 בזנב.

24

תכן מטוס מתבסס על בקרת זרימה אקטיבית

— 7 באוקטובר 2021

[DARPA looks to BAE Systems for active flow
control design](#)

תהליך התיכון יכלול בשלבים המוקדמים החלפת משטחי ההיגוי הנעים במערכות בקרת זרימה אקטיבית, וניסויים להוכחת היכולות המשופרות. לא נמסרו פרטים על הביצועים הצפויים ועל היקף החוזה.

[ראו ידיעה נוספת.](#)

[אוויר והגנא](#)

(active flow control), במסגרת חוזה של דארפא בתוכנית Control of Revolutionary Aircraft with Novel Effectors (CRANE). החברה תתכנן ותייצר מדגים בגודל מלא, עם יכולות משופרות של ביצועים, תחזוקתיות ושרידות.

25

הכנה לטיסה של אבטיפוס ספינת אוויר היברידית

— 10 בספטמבר 2021

התצורה גלילית באורך 250 רגל (113 מטר). החברות טוענות לשילוב טכנולוגיות חדישות אשר יחוללו מהפכה בתיכון ספינות אוויר.

Source: Press Release



[UAV Corp Successfully Tests Hybrid Electric Airship](#)

צוות חברות ומכללות בראשות חברת UAV Corp ביצעו בהצלחה ניסויי הכנה לטיסה של אבטיפוס ספינת אוויר היברידית DAT MA 600. טיסות ניסוי צפויות בהמשך החודש. הספינה מפותחת בתוכנית של חא"א Extended Range Airship with Modular Payload (e2RAMP). הספינה מונעת ע"י חמישה מנועים חשמליים, ומערכת תאי דלק על בסיס הליום ומימן עבור שהייה ארוכה.

[אוויר והגנא](#)

מערכת תקש"ל למסוקים

26

8 בספטמבר 2021

[Airbus trials BLoS SATCOM for helicopters](#)

חברת איירבס ביצעה ניסויים מוצלחים למערכת תקש"ל למסוקים, הנדרשת לאפשר תקשורת ללא קו ראייה למסוקים מנמיכי טוס. עד עתה מערכות תקש"ל למסוקים סבלו מהפרעות של להבי הרוטור.

המערכת Proteus נבדקה במסוק H135 ומסוק UH-60 והוכיחה יעילות מעל 80%.

המערכת כוללת תוכנה המותאמת לסינון הפרעות של תנועת הלהבים. תקשורת זו מאפשרת תפעול משותף של מסוקים מנמיכי טוס עם כלים מבצעיים אחרים, יבשתיים או ימיים, והעברת מידע מבצעי תוך כדי תנועה.

[אוויר והגנא](#)

ניסויי טיסה לדגם מטוס מטען חשמלי

27

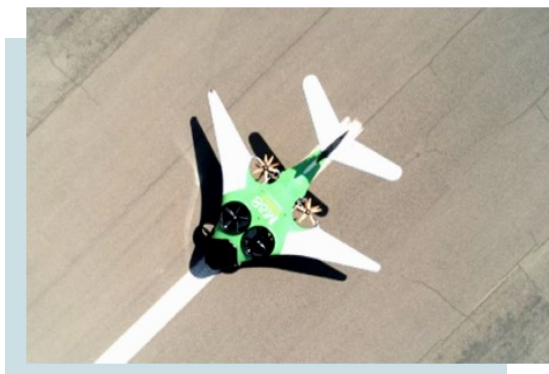
8 בספטמבר 2021

[Samad makes progress with eVTOL flight tests and a new cargo drone](#)

חברת Samad Aerospace בכריסטינה מתקדמת בניסויי טיסה של דגם בחצי-גודל של מטוס מטען חשמלי E-Starling, עם יכולת המראה ונחיתה אנכית VTOL.

במקביל היא מקבלת הזמנות מוקדמות עבור כטב"ם מטען קטן בתצורה דומה.

Source: Samad Aerospace



כטב"ם המטען צפוי להיות בעל מהירות 95 מייל בשעה (153 קמ"ש), גובה עד 10,000 רגל, טווח 135 מייל (217 ק"מ), ומטען עד 50 ק"ג (110 לב'). אספקות צפויות בשנת 2022.

[אוויר והגנא](#)

החברה פרסמה סרט וידאו מניסוי טיסה של הדגם, הכולל המראה, ריחוף ונחיתה. הדגם גדול דיו כדי להכיל טייס, אך סביר להניח שהניסוי בוצע ללא טייס מסיבות של בטיחות ומשקל.

28

קונספט לכטב"ם חדש Model 437

— 10 בספטמבר 2021

[Northrop Grumman unveils Model 437 loyal wingman concept](#)

חברת נורת' גרומן חשפה תכן קונספטואלי של כטב"ם חדש Model 437 המיועד לתוכנית Skyborg של חא"א ותוכניות בינלאומיות אחרות של loyal wingman-כטב"ם מלווה למטוסי קרב. כטב"ם זה מבוסס על תצורת מטוס מדגים Model 401 Sierra תוצרת Scaled Composites. כטב"ם 437 מיועד להיות מתכלה בקרב, ולכן מתוכנן להיות אוטונומי ועם עלות נמוכה. יהיה גדול יותר מהמדגים 401 כדי לאפשר יותר מטען מועיל ויותר דלק. החברה מציעה לחא"א לפתח בזמן קצר גירסת כטב"ם של דגם 401 כדי להדגים את הקונספט ולהקטין סיכוני פיתוח של דגם 437.

[אוויר והגנא](#)

תיתכן בהמשך העברת המדגים לייצור סדרתי. לא נמסרו פרטים טכניים של דגם 437, מלבד יעדים של טווח 2,600 מייל ימי (4,830 ק"מ) ומהירות טיסה 533 קשר (960 קמ"ש). יעד עלות 5-6 מיליון דולר. בניגוד למתחרים המשוגרים רקטית, הוא ימריא ממסלול קצר של 914 מטר.

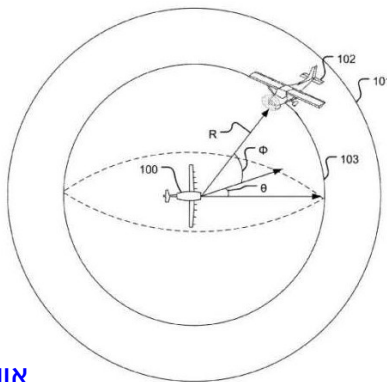
Source: Northrop Grumman



29 פטנט למניעת התנגשויות בעזרת אקוסטיקה

3 בספטמבר 2021

Ever pushing Ziplines sense and avoid system uses sound to hear and get out of the way. Love their work



[אוויר והגנא](#)

[Zipline – Acoustic based detection and avoidance for aircraft patent](#)

חברת Zipline הגישה בקשת פטנט על מערכת למניעת התנגשויות באוויר המבוססת על אקוסטיקה. מערכת גילוי קיימות המבוססת על מכ"ם הן גדולות ויקרות ואינן מתאימות למטוסים וכטב"ם קטנים. סיגנל אודיו המתקבל ע"י החיישנים בכלי הטייס מנותח לגילוי תלת-ממדי של הכיוון שלו, כולל הערכה למרחק. לאחר החלטת מיקום, המערכת מעבירה פקודה לתמרון ראשוני של כלי הטייס.

30 יכולות עתידיות למטוס טייפון

16 בספטמבר 2021

[DSEI 2021: BAE and Leonardo outline future Typhoon weapon and sensor capabilities](#)

נציגי חברות BAE ו-Leonardo חשפו יכולות עתידיות המתוכננות למטוס הקרב Typhoon הכוללות מיקוד על מערכות נשק וחיישנים: שיפורים בתקיפה, ל"א, מכ"ם, וניסויים לתפעול ללא טייס.

המכ"ם המתוכנן הוא European Common Radar System Mark 2 (ECRS Mk2) AESA, הנמצא כבר בפיתוח. מערכת ל"א Select Precision Effects At Range Capability Electronic Warfare (SPEAR EW) נמצאת בפיתוח בחברת MBDA ומיועדת לסיוע בתקיפת מטרות הגנה אווירית (SEAD). כמו כן צפוי המטוס לכלול מערכת Litening V לאיתור מטרות בלילה, ומטעה אקטיבי מתכלה BriteCloud להסתת איומים מהמטוס.

31 הפחתת רעש מנועי סילון

17 בספטמבר 2021

<https://newatlas.com/aircraft/fin-lined-nozzles-jet-engine-noise/>

נמצא כי פיית פליטה הכוללת סנפירים משולשים בהיקף הפנימי מקטינה את הרעש ב-8-5 דציבל. כמו כן נמצא כי פייה זו אינה פוגעת בביצועי המנוע, ואפילו מאריכה את חייו עקב הקטנת עומס הרעש.

הקטנת הרעש צפויה להקל על הטייסים והצוות ולהקטין נזקים לשמיעה. פיקוד האוויר של הצי NAVAIR מתכנן לבצע בקרוב ניסויים של פיות פליטה של מטוסי F-18 בגודל אמיתי עם סנפירים.

[אוויר והגנא](#)

חוקרים באוניברסיטת סינסינטי בארה"ב מצאו שיטה חדשה להקטנת רעש מנועים של מטוסי קרב סילוניים. בוצעו ניסויים בתא שקט עם דגם מוקטן 1/28 של מנוע סילון F404 המשמש במטוס F-18. בתחילה הוקלט הרעש הבסיסי של המנוע, ואח"כ נוסו דגמים שונים של פיות פליטה.

32 פיתוח רחפן חשמלי כבד

15 בספטמבר 2021

[BAE System to develop 300 kg eVTOL heavy-lift quadcopter](#)

הפיתוח מיועד בעיקר ללקוחות צבאיים, ויוכל לשמש לאספקה בין ספינות, לפינוי פצועים, ללוחמת נצ"ל, לחיפוש והצלה, סיוור ומעקב, אמצעי נגד ימיים, וסיוע אווירי קרוב. בהמשך יותאם גם לשימושים אזרחיים. טיסות ניסוי ראשונות צפויות במחצית שנייה של 2022, והתחלת אספקות ללקוחות בשנת 2023.

חברת BAE Systems כבריטניה הודיעה על פיתוח רחפן חשמלי כבד לאספקה לוגיסטית של מטען מועיל עד 300 ק"ג. הפיתוח יבוצע בשת"פ עם חברת Malloy Aeronautics. הרחפן T-650 יטוס לטווח 30 ק"מ במהירות מרבית 140 קמ"ש.

Source: Press Release

Heavy Lift Electric UAS

The T-650 Heavy Lift Electric Uncrewed Aircraft System concept vehicle aims to deliver a rapid response solution to a wide range of applications. It has the potential to provide a cost-effective, sustainable alternative to traditional delivery systems with a class-leading 300kg payload capacity creating opportunity for new and disruptive mission types.

300kg maximum payload capability

30km range at maximum payload

Potential Applications

- Automated Logistics and Re-supply
- Casualty Evacuation (CASEVAC)
- Anti-Submarine Warfare
- Maritime Search and Rescue
- Surveillance and Monitoring
- Maritime Mine Countermeasures (MCM)
- Close Air Support

Technical Features:

- Aerodynamic structure, providing lift and efficiency
- Advanced powertrain
- Agile and rapid platform development
- Advanced lightweight bespoke carbon structure
- Large propeller blades for greater efficiency
- Extended arms, removable for transportation
- Large battery capacity, highest energy density class

[אוויר והגנא](#)

רחפן אספקה מפותח לחייל הנחתים

33

— 29 בספטמבר 2021

הוא יעביר אספקה מגוונת לאזורים מרוחקים: מזון, מים, תחמושת קלה, דלק, חלקי חילוף, וערכות רפואיות. הכלי מתוכנן כך שכל ארבעת הרוטורים והן הלהבים בתוך הרוטורים ניתנים להחלפה בקלות. המנוע הינו חסכוני בדלק. בהמשך הכוונה היא לשדרג למנוע חשמלי או היברידי, על מנת להפחית או לבטל את התלות בדלק סילונו, אך כיום הטכנולוגיה הזו עדיין אינה בשלה מספיק.

[Kaman unveils medium-lift UAV to resupply distributed Marine Corps forces](#)

חברת Kaman חשפה רחפן (quadcopter) אוטונומי בגודל בינוני שנועד לחייל הנחתים האמריקני וישמש אותם לשינוע אספקה לכוחות שנחתו ברצועות חוף שונות. הרחפן מיועד לשאת משקל מקסימלי של 450 ק"ג ויש לו טווח של 500 מיילים ימיים (926 ק"מ).

ההערכה היא שבתוך חמש שנים מהיום, ניתן יהיה לבצע ייצור סדרתי. דגם האבטיפוס מיועד לרכישה גם ע"י צבאות זרים. לחברה יש ניסיון עבר עם מל"ט כבד מסוג K-MAX באפגניסטן בשנת 2011.

המימון לפרויקט מגיע מכספי מחקר ופיתוח פנימיים של החברה. בעתיד, החברה מתכוונת לבחון אופציה לתכנון כטב"ם אספקה כבד, הדומה למסוק K-MAX (מכונה Titan) עם אופציה לאיוש המטוס. כתבה נוספת:

Kaman Unveils New Medium Lift UAV – the KARGO UAV

<https://www.uasvision.com/2021/09/22/kaman-unveils-new-medium-lift-uav-the-kargo-uav/>



מנוע הפועל על גז מאפשר לחברה לשווק את המוצר תוך שנה-שנתיים מבלי לחכות להתפתחות טכנולוגית גדולה. הפיתוח בוצע בשת"פ עם חברת Near Earth Autonomy אשר מספקת מערכת מניעת התנגשויות ומערכות ניווט מדויק ללא GPS.

הרחפן עם כל ערכת האחזקה מאופסנים במיכל מטען ייעודי סטנדרטי שמתאים לאחסון במטוס או בספינה. להפעלתו נחוצים שני חיילים בלבד להוצאתו מהמכל והטסתו באוויר בתוך מספר דקות. הכלי עתיד להשתלב בפעילויות חייל הנחתים בעתיד בהיבט של יחידות קטנות, קלות תנועה, הפזרות במרחב ומותאמות למשימות שונות, ומתקשרות באופן דינמי ויעיל בכל היבט אפשרי. תספוקת הינה עקב אכילס בהיבט זה, ומכאן, החשיבות הגדולה של הרחפן. בסוף שנת 2021 המדגים יעבור בדיקות קרקעיות, וניסויי טיסה יתחילו בתחילת שנת 2022. לאחר ביצוע אינטגרציה עם חבילת האוטונומיה ומערכות המשימה, אמור להיערך ניסוי מערכת מלא עד סוף שנת 2022.

[אוויר והגנא](#)

מקל"ט סיני חדש
CH-6

34

סין מתכננת להציג בתערוכה קרובה את המקל"ט החדש Cai Hong 6 (Rainbow) או CH-6.

— 27 בספטמבר 2021

[China's Big New Twin-Jet Long-Endurance Armed Combat Drone on Show](#)

חוסר תכנון לחמקנות מעיד על עלויות נמוכות ברכש ולכן אפשרויות לרכישה בכמויות גדולות בהנחה של אובדנים בקרב.

Source: The Drive



彩虹-6大型双发无人机系统

[אוויר והגנא](#)

זהו מקל"ט סילוני דו-מנועי רב-משימתי לשהייה ארוכה. המשימות כוללות סיור מודיעיני, סיוע ותקיפה. התצורה דומה לדגם קודם קטן יותר CH-5 אך חלקו האחורי שונה לגמרי (הזנב והמנועים).

נתוני ביצועים – משקל כולל 7.8 טון, משקל מועיל בתצורת סיור 300 ק"ג או בתצורת סיור ותקיפה 2 טון, אורך 15 מטר, מוטת כנף 20.5 מטר, מהירות מרבית 800 קמ"ש ושיוט 500-700 קמ"ש, גובה בשיוט 10 ק"מ, גובה מרבי 12 ק"מ, שהייה 20 שעות (סיור) או 8 שעות (תקיפה), טווח 12,000 ק"מ (סיור) או 4,500 ק"מ (תקיפה). מקל"ט זה מעיד על יעדי ח"א הסיני להגדלת יכולות סיור ותקיפה בטווחים גדולים.

35

חיים בצוותא של מערכות מכ"ם ול"א מתקדמות

— 22 בספטמבר 2021

[Northrop tests interoperability between advanced airborne radar and electronic warfare system](#)

לפי הפרסום של החברה היה צורך קריטי להוכיח שהמכ"ם, הזזה כמעט לאלה שמותקנים חברת נורתרופ-גרומן בחנה בניסוי מוטס את ה"חיים בצוותא" של מכ"ם אווירי מתקדם ושל מערכת ל"א חדשה שהיא מפתחת עבור מטוסי F-16. המכ"ם, מסוג APG-83 Scalable Agile Beam Radar, ומערכת ה"א Next Generation Electronic Warfare System (NGEW), הותקנו על מטוס מסחרי מסוג Canadair Regional Jet. ונבחנו במהלך תרגיל של חייל האוויר האמריקני.

חברת נורתרופ-גרומן בחנה בניסוי מוטס את ה"חיים בצוותא" של מכ"ם אווירי מתקדם ושל מערכת ל"א חדשה שהיא מפתחת עבור מטוסי F-16. המכ"ם, מסוג APG-83 Scalable Agile Beam Radar, ומערכת ה"א Next Generation Electronic Warfare System (NGEW), הותקנו על מטוס מסחרי מסוג Canadair Regional Jet. ונבחנו במהלך תרגיל של חייל האוויר האמריקני. ב- F-22 וב- F-35 ומערכת ה"א יכולים לפעול במקביל ללא הפרעות הדדיות.

חברת נורת'רופ גרומן מפתחת את המערכת במסגרת הזמנה שקיבלה, אך זו איננה כוללת התחייבות לרכש מערכות.



[אוויר והגנא](#)

לפי הפרסום של החברה היה צורך קריטי להוכיח שהמכ"ם, הזהה כמעט לאלה שמותקנים ב-F-22 וב-F-35 ומערכת ה"א יכולים לפעול במקביל ללא הפרעות הדדיות. המכ"ם הותקן על חרטום המטוס המסחרי כפי שאפשר לראות בתמונה. במהלך ניסויי הטיסה נבחנו המערכות ב-170 תרחישים שונים ובין השאר מול סדרת קורנים קרקעיים המדמים מכ"מי איום מתקדמים. תוצאות הניסויים משרתים גם את חייל האוויר האמריקני בבחינת מערכת ה"א לקראת התקנתה במטוס F-16 של טייסת ניסוי בבסיס אגלין במהלך השנה הבאה.

ניסוי בשליטה על נחיל של 200 רחפנים

36

— 4 באוקטובר 2021

[DARPA to test if single user can control](#)

שמאפשרת למפעיל לשרטט על מחשב טאבלט "סקיצה" לפיה יפעלו מערכות בלתי מאוישות לביצוע משימה שהוגדרה. לדוגמה, ישרטטו סביבה של בניין ולפי השרטוט יתמקד עליו הנחיל. התוכנית עוסקת במשימות של איסוף מודיעין ע"י הנחיל, אבל אין מניעה להשתמש בנחילים גם בלחימה ממש. התוכנית הנוכחית מתייחסת לנחילים של רחפנים קטנים אך ניתן להרחיבה.

דארפא מתכננת תרגיל-ניסוי שמטרתו לבדוק אפשרויות של מפעיל בודד לשלוט על נחיל של 200 רחפנים בסביבה אורבנית. בחייל האוויר קיימת הבנה כי יש צורך בשדרוג מערכות ל"א של מטוסי F-16 להתמודדות מול איומים מתקדמים ואם הבחינה של המערכת תתקדם ייתכן שתהיה החלטה על רכש. חברת Northrop Grumman פיתחה מערכת Rapid Integration Swarm Ecosystem

מהנחילים לחיילים באמצעות התצוגה העילית של המכשיר הנ"ל. הכתבה מציינת שחברת Raytheon Technologies משתתפת גם היא כ"שחקן מרכזי" בתרגיל-ניסוי המתוכנן, אך אין לגביה כל פירוט.

[אויר והגנא](#)

חברת נורתרופ גרומן מעריכה שהטכנולוגיות שפותחו יכולות להשתלב גם בתוכנית של הצבא המבוססת על IVAS – Integrated Visual Augmentation System – ע"י העברת מידע

37

קוריאה הצפונית: ניסוי מוצלח של טיל היפרסוני

— 29 בספטמבר 2021

[North Korea claims successful test of a hypersonic missile](#)

לא נחשפו נתוני גובה הטיסה והטווח המרבי של הטיל. עם זאת, גורמים בקוריאה הדרומית מדווחים כי מערכות ההגנה הקיימות, בשת"פ עם ארה"ב, מסוגלות עדיין ליירט את הטילים של קוריאה הצפונית. הטיל הנ"ל הוא בשלבים ראשונים של פיתוח וייקח זמן עד שיהיה בשל לשימוש.

הצפי הוא כי ניתן לצפות לשיגורים נוספים בעתיד (בפרט, כשאין התקדמות בשיחות בין המערב לקוריאה הצפונית).

[אויר והגנא](#)

סוכנות הידיעות הרשמית בקוריאה הצפונית דיווחה על ניסוי מוצלח בטייל גלישה (gliding) היפרסוני חדשני, המכונה Hwasong-8, דבר בעל משמעות אסטרטגית המשפר את היכולת הצבאית של המדינה באופן ניכר. טיל בהנעה היפרסונית הינו מהיר מאוד, זריז וקשה ליירוט ע"י מערכות הגנה מטילים. לדברי ההודעה הוכחה יכולת שליטה בניווט וביציבות של הטיל, בשילוב יכולות תמרון והנחיה, ומאפייני הטיסה במצב גלישה של ראש הקרב לאחר התנתקות.

לייזר רב עוצמה נגד איומים אוויריים

— 26 באוקטובר 2021

כש"יורים" קרן אור על הלוח הראשון זה מגביר את העוצמה ושולח קרן מוגברת ללוח השני וכו'. בטכנולוגיה זאת מצמצמים את ההצטברות של חום ולכן פותרים במידה רבה את בעיית הקירור שמגבילה את ההספק של המערכת בגלל סרבול של מערכת הקירור.

זאת בניגוד לטכנולוגיית הלייזר של לוקהיד, שדורשת מערכת קירור גדולה ולכן צורכת נפח ומשקל גבוהים. למרות שנשק הלייזר של 300kW הוא הקטלני ביותר כיום, יש כבר הצעות על "Ultra-short pulse laser" שיפעל באנרגיה של 5 טרהוואט, בפולסים של 30 פמטושנייה ובקצב של 50 יריות בשנייה. ראוי לציין כי מפת הדרכים של המשרד כוללת לא רק פיתוח לייזר אלא גם פיתוח נשק מיקרוגל רב עוצמה (HPM) אשר מיועד להיות מודגם בשנת 2024. הודעה זו באה במקביל לפרסום של חברת ג'נרל דינמיקס כי היא חתמה על הסכם לשיתוף פעולה עם חברת אפירוס (Epirus) לשדרג נגמ"שי סטרייקר (Stryker) בנשק אנרגיה בכדי להתמודד עם רחפנים. נשיא החטיבה של ג'נרל אטומיקס העוסקת במערכות אלקטרומגנטיות ציין כי מדובר בנשק לייזר קרקעי רב העוצמה ביותר שפותח עד כה, אך הוא עדיין יהיה קומפקטי מספיק לשדה הקרב.

[Army Awards Laser Weapon Contract to Boeing, General Atomics Team](#)

[US Army commissions 300-kW, target-tracking laser weapon](#)
<https://newatlas.com/military/ga-boeing-distributed-gain-high-energy-laser-weapon/>

צבא ארה"ב העניק חוזה לפיתוח לייזר רב עוצמה לחברות בואינג וג'נרל אטומיקס (General Atomics) אשר ישמש להגנה מפני איומים אוויריים כגון רחפנים, קבועי כנף קטנים וטילים. משרד RCCTO של הצבא, שאמון על פיתוח מהיר של יכולות חדשות, פרסם כי הלייזר שיפותח יהיה לייזר מצב מוצק בעוצמה של 300 קילו-וואט ויתבסס על לייזר של חברת ג'נרל אטומיקס ומערכת גילוי, עקיבה וכיוון של חברת בואינג. גודלו של החוזה לא פורסם, אך ציין כי משרד ההגנה הקצה 578 מיליון דולר למחקר בנושא אנרגיה מוכוונת לשנת 2022, ועוד 331 מיליון דולר לרכש בתחום זה לשנה הקרובה.

המערכת משלבת נשק לייזר של GA עם בקרה של גילוי כינון ועקיבה של Boeing. השגת ההספק הגבוה מתאפשרת הודות לטכנולוגיה המיוחדת של GA. זו מבוססת על DG (Distributed Gain Design) – הפעלת מספר לוחות בטור.



הערה: טכנולוגיית ההגבר המבוזר מבוססת על תווך הגבר לייזר מוצק שבו יש תעלות נוזל קירור בעל מקדם שבירה המותאם לזה של התווך המוצק. באופן זה ניתן לשמור על הספק גבוה תוך התגברות על הבעיות התרמיות הפוגעות בדרך כלל בביצועי הלייזר.

[אוויר והגנא](#)

39

נשק היפרסוני: שלושה שיגורים מוצלחים ואחד כושל

— 21 באוקטובר 2021

[U.S. Long-Range Hypersonic Weapon Test Fails \(Updated\)](#)

תוך מספר ימים התפרסמו הודעות על שלושה שיגורים מוצלחים ואחד כושל במסגרת תוכניות פיתוח של נשק היפרסוני בארה"ב. לא נמסרו פרטים רבים על הניסויים. שלושת השיגורים המוצלחים בוצעו ממתקן של NASA בוואלוף, וירג'יניה, בשיתוף עם תוכנית של הצבא הקרויה Long Range Hypersonic Weapon (LRHW) (וגם בשם "Dark Eagle") ועם תוכנית של הצי Intermediate-Range Conventional Prompt Strike (IRCPMS). גם המעבדה הלאומית בסנדיה, המפתחת גלשן היפרסוני שיהיה מרכיב משותף בשתי מערכות

הנשק, הייתה שותפה לניסויים. לפי הפרסום הדל בפרטים בוצעו שלושה שיגורים מוצלחים שבהם נבחנו רכיבים טכנולוגיים שונים של מערכות הנשק. ניסוי נוסף היה מתוכנן ב-21 באוקטובר, ובו היה אמור להתבצע שיגור מבסיס קודיאק באלסקה. לפי הפרסום של משרד ההגנה חלה תקלה במשגר הרקטי ולא ברור אם השיגור בכלל התבצע. לפי רמזים שונים היה מדובר בשיגור ארוך טווח מאד עם כלי שהיה אמור לנחות באזור של שדה הניסויים של טילים בליסטיים על שם רונלד רייגן באיי קוואג'אלן שבאוקיינוס השקט. מדובר במרחק של כ-6,400 ק"מ, הרבה מעבר לטווח המוצהר של התוכנית הנ"ל (כ-2,800 ק"מ).

[אוויר והגנא](#)

— 19 באוקטובר 2021

[KAI introduces new defense products at ADEX 2021 exhibition](#)

[אוויר והגנא](#)

40

מומלץ לעיון: מטוסים חדשים בתערוכה

איטליה: הנעת ספינות בדלקים לא מזהמים

9 באוגוסט 2021 —

לשימוש במגוון גדול של דלקים, כולל ביו-דלק, דלקים מסורתיים, אמוניה, גז טבעי מנוזל ומימן. לטווח הארוך בוחנת המספנה שימוש בתאי דלק מבוססי מימן להנעה של ספינות שטח, בדומה להנעה הקיימת כיום בצוללות. ממשלות צרפת ואיטליה מממנות את המחקר, הנערך בשיתוף עם המספנה הצרפתית Naval Group. המחקר מתמקד בשאלת האחסון של תאי הדלק בספינות, לאור הנפח הגדול של תאי הדלק לעומת מקורות אנרגיה קיימים.

[ים](#)

[Fincantieri eyes biofuels to power future warships](#)

סמנכ"ל מספנת Fincantieri התבטא לאחרונה בזכות שימוש בדלקים שמקורם בפסולת חקלאית או בפסולת מזון כתחליף לטווח קצר לדלקים המקובלים בכלי שייט צבאיים. המספנה בוחנת בימים אלה דרכים להפחית את הזיהום שהספינות שלה פולטות, לאור דרישות של הצי האיטלקי. עקב הדרישות של הצי מבצעת חברה בת של המספנה, יצרנית מערכות ההנעה Isotta Fraschini Motori, התאמה של מנועים ימיים

ספינה לא מאוישת של ארה"ב הדגימה ירי טיל גדול

8 בספטמבר 2021 —

משרד ההגנה של ארה"ב פרסם סרטון ובו ספינה לא מאוישת USV Ranger משגרת טיל 6-SM שמשקלו 1500 ק"ג, מהירותו 3.5 מאך והטווח שלו מעל 240 ק"מ.

[A US military robot ship has fired a large missile for the first time](#)

עם זאת, לדעתו כלים כאלה עשויים להיות מטרה להתקפות ע"י גורמים עוינים "בעת שלום", מכיוון שפגיעה בהם אינה כרוכה באובדן חיי אדם. סרטון שולב בציוץ בטוויטר:

<https://twitter.com/i/status/1433852377870839808>

The uncrewed USV Ranger. Department of Defense/Twitter



[ים](#)

זה היה במסגרת הדגמה של התוכנית Ghost Fleet Overlord העוסקת בפיתוח כלי שייט רובוטיים שאמורים לפעול בשיתוף עם כלים מאוישים. הדגמות קודמות התמקדו במשימות שייט ארוכות ללא התערבות אנושית, כמו מעבר בלתי מאויש בתעלת פנמה. הפעם זאת הייתה הדגמה ראשונה של שימוש בלתי מאויש בנשק מהספינה. הכתבה מציינת שהטיל הינו בערך פי 100 גדול יותר מטיל שבו נעשה שימוש בניסויי ישראלי דומה ב-2017. הטיל שוגר ממשגר מודולרי, שניתן להתקין בקלות של ספינות בלתי מאוישות זולות, וכך אפשר להגביר משמעותית את כוח האש הטילית בלי להזדקק לספינות מלחמה חדשות שעולות מיליארדי דולרים. מומחה בריטי ציין שלאור המגבלות הקיימות של חיישנים ובינה מלאכותית, כלי השייט החדשים יפעלו יחד עם כלים מאוישים ולא דווקא יחליפו אותם.

43

כטב"ם ימי לאספקה לוגיסטית

— 27 באוגוסט 2021

הצורך המבצעי זוהה בשנת 2018 ובוצע מחקר בצי שהראה כי 90% ממשירות של ציוד קריטי לתיקונים, המבוצעות במסוקים, דורשות להטיס מטען שמשקלו פחות מ-22.6 ק"ג. לכן הוחלט בצי לפתח כטב"ם עם יכולת למשימות אלו. נציגי הצי החליטו שהתיכון היצירתי של החברה מתאים למימוש צורך מבצעי זה וגם למשימות אזרחיות.

[USN contracts Ptero Dynamics to deliver VTOL cargo aircraft](#)

צי ארה"ב (NAWCAD) חתם חוזה עם חברת Ptero Dynamics לאספקת שלושה אבות טיפוס של כטב"ם ימי לאספקה לוגיסטית עם יכולת המראה ונחיתה אנכית VTOL, במסגרת תוכנית Blue Water Maritime Logistics UAS (BWUAS).

Photo: PteroDynamics


[י'](#)

44

הושלם אבטיפוס כשב"ם לצי פורטוגל

— 9 בספטמבר 2021

[TecnoVeritas readies UOPV prototype for naval trials](#)

דופלר תלת ממדי, מערכות תקשורת שונות, ועוד. בנוסף אמור לשאת מערכת לשיגור כטב"מים, בלון תצפית בעל מטעד אופטי, משגר זיקוקים, טילים נגד כלי טייס, עמדת נק"ל נשלטת מרחוק ומשגר רקטות.

הדמיה של UOPV (הדמיה: TecnoVeritas)


[י'](#)

חברת TecnoVeritas הפורטוגזית עומדת להשלים ייצור אבטיפוס של כשב"ם ארוך טווח רב משימתי האמור להתחיל ניסויי ים בצי הפורטוגזי בתחילת 2022. הכלי מכונה UOPV (Unmanned Oceanic Patrol Vessel) והוא מבוסס על גוף פיברגלס שנבנה על ידי מספנת Nautiber-Estaleiros Navais do Guadiana המקומית. הכלי הינו בעל הדחק של 10 טון, אורך 8 מ', רוחב 2 מ' ושוקע של 1.1 מ'. הוא אמור להיות מסוגל לשאת מטעד במשקל של עד 2 טון ובנפח של עד 2.5 מ"ק. הוא יהיה מסוגל לשאת מטעדים כמו מערכת תצפית באינפרה-אדום, מצלמת אולטרה סגול, מערכת AIS, מכ"ם

ניסויי שיגור טיל היפרסוני רוסי מספינה

— 29 בספטמבר 2021

השלמה: ב-4 באוקטובר דיווחו ברוסיה על שיגור ראשון של הטיל צירקון מתוך צוללת.

<https://www.reuters.com/world/europe/russia-test-fires-submarine-launched-hypersonic-tsirkon-missile-first-time-2021-10-04/>

Flight test of the hypersonic cruise missile Zircon.
Image: Russian Ministry of Defense



[י](#)

[Russia's Tsirkon Hypersonic Missile Completes Ship Tests](#)

צירקון (Tsirkon), הטיל ההיפרסוני שפותח ברוסיה, השלים סדרת ניסויים בהם שוגר בים מהפריגטה "אדמירל גרושקוב". 10 דגמים של הטיל שוגרו בניסוי, שהסתיים ביולי השנה. בחודש נובמבר צפויה סדרה נוספת ואחרונה של ניסויים, אחריה תתחיל אספקה של הטילים לצבא הרוסי. סגן שר ההגנה הצהיר שרוסיה מתכוונת להקדים את מדינות המערב בטכנולוגיה הזו ולשמור על העליונות שלה בתחום. הנשיא פוטין אמר שהטיל צירקון מסוגל להגיע למהירות של 9 מאך (מעל 11,000 קמ"ש). בניסויים שהיו ביולי הוא טס במהירות של 7 מאך (8,600 קמ"ש).

רוסיה: שיגור תת ימי ראשון של הטיל Zirkon

— 4 באוקטובר 2021

השגא-קולי Zirkon במימי הים הלבן, לעבר מטרה שנמצאה בים ברנץ. מדובר בניסוי שיגור שני של הטיל מהצוללת, לאחר שיום קודם בוצע שיגור מאותה צוללת בעת שהפליגה על פני המים. [י](#)

[The Second Launch of the Zircon from Under the Water Was Successfully Completed](#)

משרד ההגנה של רוסיה פרסם כי הצוללת הגרעינית Severodvinsk ביצעה שיגור של הטיל

47

נשק לייזר ואנרגיה מוכוונת לצרכי הצי מפותח בבריטניה

23 בספטמבר 2021

שניים מהחוזים הם לתותחי לייזר בעוצמה גבוהה, והשלישי הוא לנשק RF (ללוחמה אלקטרונית) ומיקרוגל. שניים מהחוזים הוענקו לחברת Thales UK והשלישי ל-Raytheon UK.

ידיעה נוספת:

[British military awards contracts for electromagnetic warfare and laser weapons on vehicles and ships](#)

ים

[Brits make new push for directed-energy weapons aboard vehicles, ships](#)

משרד ההגנה של בריטניה חתם על עסקאות לפיתוח מדגימי טכנולוגיה של מערכות נשקי לייזר ואנרגיה מכוונת (RF ומיקרוגל רב עוצמה) עבור כלי שיט ורק"ם של הצבא הבריטי.

48

כשב"ם לגילוי מוקשים ימיים בטכנולוגיה של מוליכי-על

16 בספטמבר 2021

היתרון של מוליך-על מגנטי בטמפרטורה גבוהה הוא יכולתו לעמוד בזרמים חשמליים גבוהים ביותר, ללא התנגדות. בשילוב עם חיישן אקוסטי המערכת תהיה מסוגלת לגלות מוקשים בעלי חיישני השפעה מגנטית. בצי מבקשים מהתעשייה פתרונות לשילוב מוליכי-על בטמפרטורה גבוהה עם החיישן האקוסטי, כדי לייצר רכיב אותו ניתן יהיה להתקין על כשב"ם לגילוי מוקשים של הצי מדגם MCM-USV.

[Navy eyes advanced minesweeping sensor payload using high-temperature superconducting magnetic materials](#)

מחלקת המחקר של צי ארה"ב (ONR) פרסמה קול קורא לפיתוח מערכת גילוי מוקשים ימיים המבוססת על חיישנים אקוסטיים, עבור כלי שיט בלתי מאוישים. המערכת אמורה להתבסס על מקור מגנטי בעל מוליכות על בטמפרטורה גבוהה. היתרון של מוליך-על מגנטי בטמפרטורה גבוהה הוא יכולתו לעמוד בזרמים חשמליים גבוהים ביותר, ללא התנגדות.



כשב"ם אמריקני MCM-USV

ים

49

צי ארה"ב חשף כשב"ם ללוחמת נצ"ל

16 בספטמבר 2021

[San Diego Harbor Mystery Machine Is a New Sub-Hunting Racing Robot](#)

היתרון של הכלי של ריתיאון, כך נראה, הוא במהירות שלו, לעומת Wave Glider, המונע באנרגיית הגלים ולכן מוגבל במהירותו. צורתו של Wave Glider, הנראה כמו גלשן שטוח, מאפשרת לו, לכאורה, עמידות רבה בים. בשנת 2012 חצה כלי כזה את האוקיאנוס השקט, אולם הוא מסוגל לנוע במהירויות נמוכות בלבד, של 1.5 קשר. Catbus החדש נצפה כבר נע במהירות העולה על 17 קשר, ככל הנראה תודות לעובדה שהוא מבוסס על גוף של קטמרן מרוץ בעל גרר נמוך.

צילום: משתמש טוויטר @cjr1321

נחשפו פרטים על כשב"ם לא ידוע של צי ארה"ב המכונה Catbus שנצפה בנמל סן דייגו בקליפורניה. על פי הפרטים שהביא צייצן טוויטר לא מזהה, מדובר בכלי של חברת ריתיאון, המבוסס על שלד של קטמרן, באורך 18 רגל (כ-6 מ') ומונע באמצעות אנרגיה סולארית. הכלי מיועד לפעול בים עם גלים עד גובה של 1 מ' והוא מתוכנן לגרור מערך אקוסטי קטן במהירות של 13 קשר. בעבר נחשפה בארה"ב התקנה של מערכת גילוי תת ימי של חברת בואינג על כשב"ם רוכב גלים קל Wave Glider.



ים

צוללת עם יכולות חמקנות חדשות

3 בנובמבר 2021

גם בגזרת המנוע הוכנסו טכנולוגיות חדשות לחמקנות גבוהה יותר. הצוללת לא תונע ישירות ע"י המנוע הגרעיני, אלא תיעזר במנוע חשמלי שיניע את הצוללת, בשיטת Pumpjet Propulsor והכוח לא יופנה ישירות למדחף, מה שאמור להביא הנעה שקטה יותר. טכנולוגיות נוספות יבואו מהצוללות החדשות של הצי האמריקני, מסדרת קולומביה שנחשבת לטובה בעולם כיום. בין היתר מערכות שאמורות לאפשר לצוללת להתגונן מפני שיטות גילוי אלקטרומגנטיות שמשמשות בין היתר גם את הרוסים. המאמר לא מפרט יותר מדי על הטכנולוגיה עצמה, אבל זה די טבעי בהתחשב בעובדה שמדובר בצוללות מסווגות מאוד, ומן הסתם היצרניות לא מנדבות מידע רב. נצטרך לחכות עד מבצע הצוללות, ואז אולי יהיו מי שיוכלו לדעת האמנם הצוללות האלה הן החמקניות ביותר שנבנו מעולם.

[First Submarine to Use New Stealth Technology](#)

הצוללות הגרעיניות העתידיות של הצי הבריטי, מסוג Dreadnought, עתידות להיות הצוללות השקטות והחמקניות מסוגן בעולם, כך לפחות טוענים הבריטים. סדרת Dreadnought מיועדת להיכנס לשירות בתחילת העשור הבא, ושתי הצוללות הראשונות מדגם זה כבר נמצאות בשלבי בנייה התחלתיים בבריטניה. הצוללות יישאו טילים גרעיניים. כשמדברים על צוללות "חמקניות" או קשות לגילוי, הכוונה לצוללות שיהיו כמה שיותר שקטות. חוץ משיטת ההנעה, השקטת הצוללת מתאפשרת גם בעזרת החומרים והמבנה החיצוני שלה. הצוללות הבריטיות החדשות יתוכננו בצורה שונה מצוללות שקטות קיימות. החלק החיצוני יהיה קל יותר, ויורכב משכבות בצורה כזאת שהחתימה שלהן תהיה נמוכה יותר מכל צוללת ידועה.

לוינות וחלל

אך הרכב עבר לנקודה אחרת לפי פקודת מדעני נאסא ושם ביצע שתי דגימות מוצלחות. הדגימות כוללות סלעי בזלת וסימני מלח.

הרכב מצויד ב-43 צינורות דגימה. בהמשך יבצע דגימות באזור שבו ביצע המסל"ט Ingenuity סיור מוקדם. כנראה הסלעים שם ישנים יותר. החזרת הדגימות לכדור הארץ צפויה כנראה בשנת 2031. סוכנויות החלל NASA בארה"ב ו-ESA באירופה החלו לתכנן משימה מורכבת זו.

[לוינות וחלל](#)

מיומנות ייחודית של מומחי תוכן לצורך פריסת התחנות בשטח והפעלתן, בעוד שחייל עם הכשרה בסיסית אינו מהווה תנאי מספיק לביצוע השלבים הללו. חברת פרדיגמה הבריטית מציעה פתרון פשוט לבעיית התפעול ע"י משתמשי קצה (כוחות מיוחדים, משימות איסוף מודיעין, יחידות חירום או צוותים רפואיים) בתנאים קריטיים,

51

החל איסוף דגימות סלעים מקרקע המאדים

11 בספטמבר 2021

[NASA's Perseverance rover has taken the 1st steps in decades-long dream of Mars sample return](#)

הרכב"ם החללי Perseverance החל לאסוף דגימות סלעים מקרקע המאדים. בהמשך התוכנית צפויה החזרת הדגימות לכדור הארץ למחקר סימנים לקיום אפשרי של חיים בעבר הרחוק.

ניסוי קדיחה אחד נכשל עקב התפוררות הסלע,

52

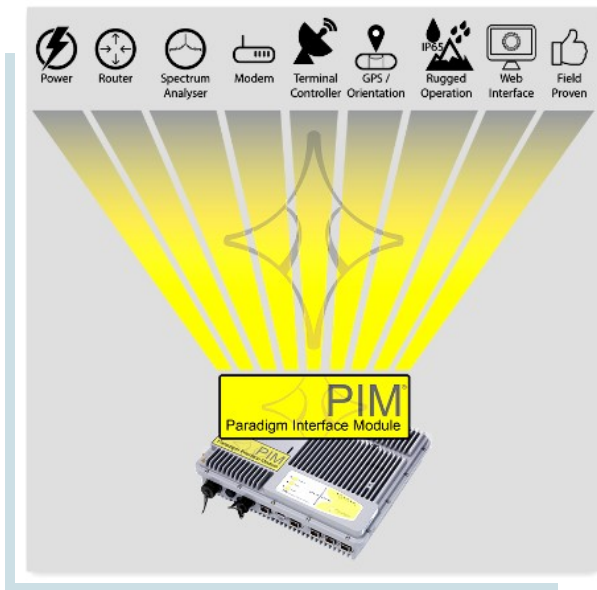
מסוף תקשורת לוויינית מתקדם וקל לשימוש

13 בספטמבר 2021

[Paradigm's satellite terminal to simplify Satcom operations](#)

תקשורת לוויינית מאפשרת לצבאות לתכנן ולסנכרן את פריסת הכוחות בשטח. מסופי תשדורת לוויין אמנם מספקים תקשורת טקטית חיונית בתנועה, אך לעתים קרובות הם דורשים

בנוסף, המכשיר מורכב מיחידה קשיחה, הכוללת את כלל החלקים והרכיבים שהמפעילים נדרשים לצורך הפעלה ותפעול (כולל אספקת אנרגיה למכשיר). קיימת גרסה מתקדמת למודול, PIM950, המאפשרת מעבר בין תחנות רשת שונות (Xpress גלובליות, מהירות או אבולוציה) בלחיצה פשוטה על כפתור ללא צורך בשינוי החומרה.



התמונות להמחשה לקוחות מאתר החברה:

<https://www.army-technology.com/features/satcom-operations-satellite-paradigm/>



לטובת ביצוע תקשורת בזמן-אמת. זאת באמצעות פיתוח מסוף ייעודי מוקשח (מסוג Swarm) המחובר למודול ממשק (PIM – Paradigm Interface Module) ללא צורך במומחיות או הכשרה מיוחדת. לדברי מנהל השיווק של החברה, פשטות השימוש באה לידי ביטוי בהפעלת שלושה לחצני מגע, מערכת תאורת LED שהופכת את ההצבעה וההפעלה לפשוטה ביותר.

PIM הוא מערכת תקשורת מבוססת על מודם אגנוסטי, וככזה, ניתן לאינטגרציה ביחד עם כלל המודמים ברשת, ומאפשר בחירה גמישה ואופטימלית של מודם לטובת תקשורת נוחה ומהירה. משתמשי הקצה (מפעילי התחנה) יכולים לעקוב בלוח המסך אחר קונסטלציית אותות ויזואליים או שמע (אודיו) לבחירתם על מנת להגדיר ולהפעיל את המסוף.



[לוינות וחלל](#)

ראש רשות החלל הבריטית מזהיר מטרור בחלל

14 בספטמבר 2021

[Head of UK's Space Directorate warns of space terrorism](#)

ראש רשות החלל החדשה של בריטניה, תת-מרשל האוויר ברווי סמית, הזהיר מפני איום גובר של טרור בחלל ומהחלל. הוא אמר את הדברים בהרצאה בפני באי כנס DESI בלונדון ב-14 בספטמבר. הוא הקביל את הנגישות הגבוהה לשיגורים מסחריים לנגישות הגבוהה לתעופה אזרחית ששימשה כלי לביצוע פיגועי הטרור ב-11 לספטמבר, שיום הזיכרון ה-20 להם צוין רק מספר ימים קודם לכן. הוא ציין כי ההוזלה של השיגורים (מ-20 אלף דולר לק"ג לפני עשור לפחות מ-2000 דולר היום) והיכולות המשופרות של לוויינים קטנים וזולים משפרות את הנגישות לחלל של מדינות קטנות, חברות מסחריות ואקדמיה. הוא הזהיר,

עם זאת, כי עם כל התועלת בדבר יש בכך גם אתגרים חדשים. כחלק מההתמודדות הזו בריטניה שואפת לאמנת חלל חדשה בחסות האו"ם. לדבריו המגעים להסכמה בנושא זה מתקדמים באופן חיובי ביותר. רשות החלל הבריטית הוקמה לפני כשנה וחצי כדי לתאם את הפעילות בחלל בכל הממשל הבריטי. בתחילת שנה זו הוקם גם פיקד חלל כדי לרכז את הפעילות במערכת הביטחון. שני הגופים מנהלים תוכניות למודעות מצבית משופרת בחלל, מערכת תקשורת גלובלית חסינה (הדור הבא של המערכת הנוכחית הקרויה Skynet), לווייני איסוף מולטי-ספקטראליים, וארכיטקטורה דיגיטלית חדשה לניהול המשאבים בחלל.

[לוינות וחלל](#)

פיתוח תקשורת אופטית לקונסטלציות בחלל

14 בספטמבר 2021

[DARPA Wants Cheap Laser Communications Terminals to Allow Any Satellite to Talk to Another](#)

DARPA הודיעה על תוכנית חדשה שמטרתה לפתח מערכת תקשורת אופטית חדשה וזולה שתאפשר לקונסטלציות של לוויינים מסוגים

קונסטלציה מסוימת אלא גם בין קונסטלציות שונות.

לתוכנית שלוש מטרות עיקריות: השגת קצב תקשורת של 100 ג'יגה-ביט לשנייה ברוב התקנים האופטיים המקובלים, צריכת הספק עד 100 וואט, ועלות שלא תעלה על 100 אלף דולר. את צירוף היעדים האלה מכנים ב-DARPA "100 בשלישית".

DARPA מצפה להצעות המבוססות על ארכיטקטורה פתוחה ומודולרית ואשר תאפשר שימוש במטעדים אופטיים שונים ומודמים שניתן לשלוט בתצורה שלהם. את מסופי התקשורת האלה ניתן יהיה להתקין על לוויינים ייעודיים שימשו כצמתי תקשורת או כחלק אינטגרלי מלוויינים משימתיים.

שונים לשתף כמויות גדולות מאד של מידע בצורה יעילה וחסונה.

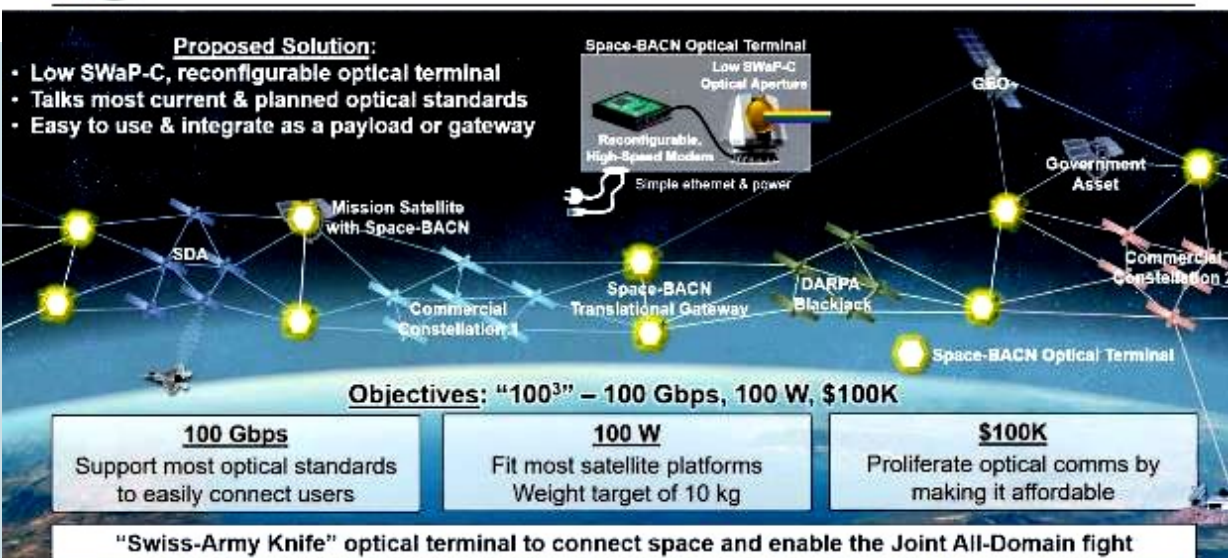
התוכנית הקרויה Space-Based Adaptive Communications Node או Space-BACN אמורה לאפשר קישוריות בין רשתות מבוזרות בעלות משימות שונות אך משלימות כמו התרעה בין טילים, איסוף מודיעין ותקשורת.

ההודעה על התוכנית יצאה ב- 13/9 ואפשר לראות את מוביל התוכנית בסרטון –

<https://youtu.be/A56F3PvG35I>

לדבריו מערכת תקשורת זו תאפשר פריסה מהירה בחלל של אלפי לוויינים זולים וקטנים. הייחודיות במערכת החדשה היא שניתן לשנות את צורת הגל (מאפייני התקשורת) בקלות, כך שהתקשורת תהיה אפשרית לא רק בתוך

DARPA Space-Based Adaptive Communications Node (Space-BACN) STO



[לוינות וחלל](#)

לוויינים ימירו אנרגיה סולרית

וישדרו אותה ב-RF

24 בספטמבר 2021

[Could solar panels in space power Army operations on Earth?](#)

פרסום נוסף על פיתוח יכולת להקרין אנרגיה חשמלית מהחלל לכדור הארץ.

במעבדת המחקר של חייל האוויר האמריקני (AFRL) מאמינים כי ניתן יהיה לספק חשמל מהחלל לבסיסים אמריקניים קדמיים בכל מקום על כדור הארץ. זאת באמצעות קונסטלציה של לוויינים שיפיקו חשמל באמצעות לוחות סולריים ויקרינו את האנרגיה בשידור RF אל פני הארץ. תוכנית המחקר וההדגמה הזו נקראת Space Solar Power Incremental Demonstrations and Research ובראשי תיבות -SSPIDR. תוכנית המחקר מבוסס על גישה של ביגור טכנולוגיות והדגמה מדורגת. החוקרים מאמינים כי הדגמה ראשונה, לא מהחלל, תהיה אפשרית כבר ב-2024 והדגמה ממסלול סביב הארץ ב-2025. ההדגמה מהחלל היא כמובן הדגמה מרכזית והיא זכתה לשם תוכנית משלה -Arachne.

הקבלן הראשי בתוכנית המחקר הוא חברת נורתרופ-גרומן אשר קיבלה הזמנה על סך 100 מיליון דולר. חברה זו מתמקדת בהמרה יעילה של אנרגיה מתאי השמש ל-RF. חברות אחרות קיבלו הזמנות לפיתוח תאי שמש יעילים יותר, מבנים נפרשים בחלל ועוד. לוחות גדולים המבוססים על תאי שמש יעילים הם כמובן האתגר המרכזי של התוכנית. היעד הוא להפיק הספק של 1000 קילוואט, הספק אשר נדרש להפעלה של בסיס מבצעים קדמי (על פי מחקר שנערך על ידי מעבדת המחקר של הצי -NRL). לשם השוואה הלוחות הסולריים של לוויין GPS III שאורכם כ -

14.5 מטר מפיקים 4.5 קילוואט.

כדי לעמוד באתגר מתכוונים במעבדה לפתח לוחות סולריים מתקפלים שניתן יהיה לשגרם במטען קטן יחסית ואז לפרוש אותם לממדי ענק בחלל. לשם כך הוקמה מעבדה למבני חלל נפרשים בבסיס חייל האוויר קירטלנד בניו מקסיקו. מבנה המעבדה גדול דיו כדי לפרוש לוחות סולריים ענקיים בדימוי של כבידה נמוכה. מעבדה זו תאפשר לפתח מבנים המבוססים על חומרים קלים וחלשים שלא יעמדו בכבידת הארץ, אך יהיו מספקים בחלל.

חידוש נוסף הוא פיתוח של לוח סנדוויץ' האוסף קרינת שמש בצד אחד, ממיר אותה ל-RF ומשדר מהצד השני. מכלול כזה כבר קיים ועתה עובדים כדי להפוך אותו לדק וקל יותר. פיתוח זה נעשה, כאמור, על ידי נורתרופ-גרומן.

בקצה הקרקעי הרכיב המרכזי הוא אנטנה מיישרת (rectenna) הקולטת קרינת RF וממירה אותה לחשמל DC. אנטנות כאלה ניתן לפרוש על כל מבנה בבסיס ואף לשלב באוהלים. לפי מעבדת המחקר יש צורך ב-12 לוויינים בלבד, שייקראו Scorpion, במסלול ארץ בינוני, כדי לספק חשמל לכל נקודה על כדור הארץ.

AFRL משתפת פעולה עתה עם NRL שהיה לה פרויקט הדגמה דומה. NRL אף שלחה מדגים, Photovoltaic Radio-frequency Antenna Module או PRAM לחלל באחד הטיסות של מטוס החלל הסודי X-37B (במאי 2020).

[לוויינות וחלל](#)

56

רובוטים ישתפו פעולה בכרייה על הירח

9 בספטמבר 2021

[Researchers enlist robot swarms to mine lunar resources](#)

כאשר אדם מעתיק את מקום מגוריו מעיר לעיר, אין זה סביר שהוא יישא עמו את חומרי הבנייה ממקום מושבו הישן לחדש. קל וחומר כאשר מדענים חושבים לבנות מושבות על פני הירח. לפיכך מתכנני מושבות כאלה רואים את הירח גם בתור מקור לחומרי הגלם מהם ייבנו שם מושבות. יתרה מזאת, לפי הרבה תאוריות, החומר ממנו עשוי כדור הארץ דומה מאוד לזה של הירח. הבעיה היא שבניגוד לכדור הארץ, אין בירח מקורות אנרגיה בלתי נדלים ולכן יש להשתמש על הירח באנרגיה לכרייה בצורה חכמה.

[לוינות וחלל](#)

מדענים באוניברסיטת אריזונה בארה"ב מפתחים אלגוריתמים אשר יאפשרו לרובוטים לשתף פעולה בצורה חכמה בעת ביצוע פעולות כרייה, כך שסך העבודה שלהם יניב תוצרי כרייה תוך שימוש מינימאלי באנרגיה. החוקרים משתמשים במכרה ישן באריזונה כדי לבחון אלגוריתמים שונים לשיתוף פעולה בין הרובוטים במשימות הכרייה. הם בחנו שיטות וחלופות שונות לעבודה משותפת של הרובוטים תוך ניסיון לחסוך באנרגיה ולהפיק תוך כדי עבודה כמות מרבית של חומר (בכרייה). המחקר, שממומן חלקית בידי סוכנות החלל האמריקנית (NASA), בוחן רובוטים שונים, שיטות כרייה שונות והשפעות של אטמוספירה שונה על יכולת הרובוטים לתפעל בסביבת הירח.

57

תחנת החלל הבינלאומית הוסטה שוב ממסלולה

15 באוקטובר 2021

[Errant Russian spacecraft thruster firing tilts space station by accident again](#)

תחנת החלל הבינלאומית ISS עברה שוב אירוע שגרם לסטייה של 57 מעלות מהכיוון הנכון, עקב הפעלה בלתי מתוכננת של מנועי החללית הרוסית Soyuz MS-18 המחוברת אליה.

Image credit: NASA



[לוינות וחלל](#)

החללית מיועדת להחזיר לארץ שלושה רוסים שעסקו בהכנת סרט בחלל. הפעלת המנועים קרתה בזמן בדיקות לפני השיגור.

מערכת בקרת הטיסה של התחנה ביצעה תיקון כיוון והתייצבות מחדש תוך 30 דקות. אין עדיין הסבר לתקלה שנמצאת עדיין בחקירה של סוכנות החלל הרוסית ושל נאסא. לצוות לא נשקפה סכנה במהלך האירוע. תקלה דומה ארעה ב-29 ביולי. אז הסטייה הייתה יותר חמורה והגיעה ל-540 מעלות. הסיבה שנמצאה היא תקלת תוכנה.

תקשוב

58

כבל USB מכיל מחשב זעיר שמרגל אחר הקלדות

4 בספטמבר 2021

[New USB Cable Contains Tiny Computer That Spies On Everything You Type](#)

לדבריו, הכבלים הנמכרים אמורים לשמש למטרות מחקר ואבטחה, ולא למטרות זדון. לפי תיאור המוצר, הכבל כולל שרת רשת, רדיו ומעבדים זעירים המוסתרים כולם בתוך הכבל עצמו. בהרצת מבחן, בה כתב מגזין Motherboard השתמש בכבל האמור, הוא גילה שאכן ניתן לזהות כל מילה שהקליד. המידע נשלח ישירות לסמארטפון האישי שלו, בזמן ההקלדה ממש. (ראו סרטון) לפי החוקר, האקרים יכולים להריץ את הממשק מכל דפדפן רשת לאחר שיתחברו לרשת הווירטואלית-פיי שמספק הכבל. סרטון:

<https://www.youtube.com/watch?v=CqnXchka9Ec>

אפשר לרכוש את הכבל כאן.

[תקשוב](#)

בימים אלו יכולים האקרים לרכוש כבל USB המרגל אחר המשתמשים בו. את הכבל פיתח והדגים חוקר אבטחת סייבר אנונימי שכינויו MG. לפי החוקר, הכבל נראה ככל כבל USB אחר, אלא שהוא כולל מחשב זעיר שמסוגל לתעד אוטומטית כל פעולת הקלדה שמתבצעת בזמן שהוא מחובר, ולשגר את המידע להאקר. "היו אנשים שאמרו שכבלים מסוג C היו בטוחים מפני שתל כזה, מכיוון שאין בהם מספיק מקום. כך שכמובן שהייתי חייב להוכיח להם שהם טועים," סיפר החוקר למגזין Motherboard. החוקר החל כבר לייצר את הכבלים החדשים באופן המוני ולמכור אותם דרך החנות המקוונת של קהילת ההאקרים-Hak5.

חא"א נערך לעיבוד מודיעין באזור עימות ללא תקשורת לארה"ב

20 בספטמבר 2021

והעברת תובנות במעגלים קצרים וחסונים באזור העימות עצמו. בתרגילים משתתפות שתי כנפות איסוף מודיעין (ISR) מרכזיות, כנף 363 ו-480. תרגילים אלה משולבים בתפיסה רחבה יותר שחייל האוויר קורא לה "הפעלה קרבית גמישה" (Agile combat employment). עיקרה הפעלת מטוסי קרב וכלי טייס אחרים מבסיסים משניים שאינם בסיסים מרכזיים של החייל. התפיסה הזו כוללת גם היבטים של מערכות תקשורת אזוריות נפרשות, ונושא איסוף המודיעין והפצתו על רשות אלה מהווה חלק מהתרגולת. הייעוד של חייל האוויר ה-16 כולל גם התמודדות עם איומי סייבר ולוחמה אלקטרונית והיערכותו לזירה המבצעית החדשה כוללת גם מתן פתרונות רב ממדיים בתחומים אלה.

[תקשוב](#)

[Air Force testing how to do intelligence in disconnected environments](#)

חייל האוויר האמריקני בוחן כיצד לאסוף ולעשות שימוש במודיעין בסביבה מבצעית מפוצלת עם קישוריות נמוכה. בניגוד למצב בעשורים האחרונים, חייל האוויר האמריקני חושש כי בעתיד הקרוב יוכלו יריבים מתקדמים לשבש את מערכות התקשורת ולפגוע בקישוריות הגבוהה המאפשרת היום העברת מודיעין לארה"ב מחיישני האיסוף, עיבוד המידע והעברתו חזרה ליחידות המבצעיות בקו החזית. חייל האוויר ה-16, הגוף האחראי ללוחמת מידע, עורך ניסויים שמטרתם כיצד לבצע איסוף, עיבוד

"מודעות עצמית" נסתרת" תגן על מערכות פיזיות מהתקפות סייבר

7 באוקטובר 2021

בהתקפות סייבר על מערכות פיזיות (כגון תחנת כוח גרעינית) התוקף מצליח להתגבר על ההגנה הממוחשבת ומזין אותה במידע מזויף כך

[Researchers create 'self-aware' algorithm to ward off hacking attempts](#)

חאליק, כל מערכת שמבוססת על בקרה שמסתכלת על המידע ומקבלת החלטות בהתאם, הינה פגיעה לסוג כזה של התקפות: "אם יש לך נגישות לנתונים, ואתה משנה את המידע, אזי כל מי שיקבל החלטה יבסס אותה על נתונים מזויפים". כדי להתמודד עם הבעיה, עבדל-חאליק ושותפיו למחקר מצאו דרך להחביא אותות בתוך "מרחב הרעש" של המערכת. מודלי בקרה מתעסקים עם אלפי משתני נתונים שונים, אבל משתמשים רק בחלק קטנטן שלהם לחישובי הליבה שמשפיעים על הפלט של המודל. ע"י שינוי קליל של אותם משתנים בלתי חיוניים, האלגוריתם מפיק אות כך שרכיבים אינדיבידואליים של המערכת יוכלו לוודא את האותנטיות של הנתונים המגיעים, ולהגיב בהתאם. אם הקישור בין הרכיבים רופף, המערכת איננה באמת "מודעת" לרכיבים האחרים או אפילו לעצמה. היא רק מגיבה לנתוני קלט (אינפוטס). אם הופכים אותה למודעת לעצמה, מציידים אותה ביכולת פנימית של גילוי אנומליות.

כדי לשפר עוד יותר את האבטחה, האותות הללו מיוצרים ע"י הרעש האקראי של הציוד עצמו, למשל תנודות בטמפרטורה או בצריכת ההספק. גם אם לתוקף יש "תאום דיגיטלי" (digital twin) של מודל המערכת, הוא לא יוכל לצפות או לשחזר את "חתימות הנתונים" הללו, המשתנות כל הזמן, ואפילו מי שיש לו נגישות פנימית לא יוכל לפצח את הקוד. לדברי עבדל-חאליק, אם מפתחים פתרון אבטחה כלשהו (מהסוג המקובל), אפשר לבטוח בו אבל עדיין צריך לתת למישהו את המפתח. לעומת זאת, כאן האותות מיוצרים אוטומטית ע"י רעש המערכת עצמו, ולא ניתן לגלותם.

במאמרים שהצוות פרסם עד כה, ההתמקדות היא על כורים גרעיניים, אבל החוקרים סבורים שלשיטה יש פוטנציאל יישומי בכל מערכת שיש בה חיישנים וחוג בקרה. כדי לקדם יישומים מסחריים החוקרים הקימו חברת הזנק בשם Covert Defenses LLC. במקביל, הם מפתחים

שהמערכת (וגם המפעילים האנושיים) חושבים שהכול כשורה. אחר כך התוקף משבש את הפעולה של מרכיב קריטי כלשהו, וכשהדבר מתגלה הנזק כבר נעשה. הפתרון עשוי להיות רעיון שהוצע ע"י האני עבדל-חאליק, פרופסור להנדסה גרעינית באוניברסיטת פרדיו בארה"ב וחוקר במכון של האוניברסיטה העוסק באבטחת סייבר (Center for Education and Research in Information Assurance and Security - CERIAS). הרעיון הוא שהמודלים הממוחשבים שמריצים את המערכות הסייבר-פיזיקליות יהיו גם בעלי "מודעות עצמית" וגם בעלי יכולת של "ריפוי עצמי". מה זה אומר? תוך שימוש ב"רעש רקע" שבזרימת הנתונים במערכות אלה, משלבים אותות חד-פעמיים בלתי נראים, המשתנים ללא הרף, והופכים רכיבים פסיביים ל"עוקבים" אקטיביים. כך, אפילו אם התוקף חמוש בשכפול מושלם של מודל המערכת, כל ניסיון להכניס נתונים מזויפים יתגלה מייד ויידחה ע"י המערכת עצמה, ללא צורך בתגובה אנושית כלשהי.

עבדל-חאליק קורא לזה "מודעות נסתרת" (covert cognizance). כיום, כל המערכות של תשתיות קריטיות משתמשות בטכניקות מיחשוב מתקדמות, כולל למידת מכונה, בינה מלאכותית ואנליטיקה פרדיקטיבית. האחראים על תפעול המערכות משתמשים במודלים אלה לניטור קריאות המכשירים השונים וכדי לוודא שהקריאות הללו נמצאות בטווח הנורמלי. ע"י חקירת היעילות של מערכות בתחנת כוח גרעינית והאופן בו הן מגיבות לכשלים בציוד או הפרעות אחרות, עבדל-חאליק התוודע למה שנקרא "תאומים דיגיטליים" המופעלים במערכות הללו: סימולציות משוכפלות של מודלי ניטור נתונים אשר מסייעות למפעילי המערכת לקבוע מתי מתעוררות שגיאות אמיתיות. עם הזמן, הוא התחיל להתעניין לאו דווקא בכשלים מקריים אלא בכשלים מכוונים, ובמיוחד במה שעלול לקרות כשלתוקף יש "תאום דיגיטלי" משלו שהוא יכול לעבוד איתו. לדברי עבדל-

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00295450.2020.1812349>

Validation of Covert Cognizance Active Defenses, Nuclear Science and Engineering (2021),

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00295639.2021.1897731>

[תקשוב](#)

Pacific Northwest - ב- תוכנה שתיבחן ב- National Laboratory

מאמרים מדעיים:

Covert Cognizance: A Novel Predictive Modeling Paradigm, Nuclear Technology (2021).

מפעל התוכנה של צבא ארה"ב להכשרת חיילים ללוחמת סייבר

61

11 באוקטובר 2021

היחיד עם תהליך אבטחת איכות אוטומטי המאפשר לעקוב אחר כוח העבודה שלו בסייבר. הרעיון מאחורי "מפעל התוכנה" של הצבא הוא להכשיר צוותים של חיילים ביחידות שיוכלו ליצור אב-טיפוס, לפתח ולעדכן יישומים לרשתות מבצעיות בשדה הקרב עצמו. ביום השני לכנס הוצגו יישומים לחיבור טוב יותר של חיילים למשרות הצבא, לניהול תחזוקה מונעת ולארגון משימות של לוחמי צבא ולוחות זמנים.

קבוצות חדשות של 25 חיילים יופעלו בשטח כול שישה חודשים (הראשון החל בינואר), ולאחר חמישה חודשים נוספים ילקדו את הקבוצות הבאות. בשלב הראשון הם משולבים עם מומחים מעמק הסיליקון כדי ללמוד כיצד לפעול כצוות מוצר בתחום הסייבר, לבנות פתרונות אב טיפוס, ובאמצעות משוב מחיילים אחרים לפתח זאת לייצור וליישום שוטף.

"יש מגוון של התמחויות תעסוקתיות צבאיות ומגוון דרגות. לא ממש אכפת לנו מה הדירוג שלך

[Army Software Factory to churn out soldier coders](#)

מאחר שהצבא מתקשה לגייס מבחוח עובדי סייבר מיומנים, הוא מנסה להגדיל את מספרם מתוך הכישרונות הבלתי מנוצלים שנמצאים בשורותיו. חיילים כאלה, הפועלים ב"מפעל התוכנה" שהצבא הקים, שבסיסו ב- [Austin Community College in Texas](#), הציגו בפגישה השנתית של AUSA כמה יישומים שהם פיתחו. אבל העניין האמיתי, הם אמרו, הוא לפתח אנשי מקצוע מומחים בנושאי תוכנה מבין החיילים המשרתים. הצבא צריך לשקול היכן להשקיע את המוכשרים שבחייליו. "יש בצבא כישרונות מדהימים כל כך שאינם מסווגים נכון, שאינם מנוצלים מספיק", אמר בכנס מנהל התוכנית, סא"ל Vito Errico.

המפקח הכללי של משרד ההגנה מצא (ראו [the Department of Defense Inspector General found](#)) כי במשרד חסרה תמונה ברורה של צרכי כוח הסייבר שלו. הצבא היה הגוף

"הרבה אנשים מזהים שהצבא לא רוצה לבצע השקעות מסוג זה ולאבד חיילים טובים מסוג זה, ולכן המחשבה היא כיצד יש לעשות זאת בצורה הטובה ביותר לטווח הארוך".

[תקשוב](#)

ואיפה למדת בבית הספר התיכון", אמר סא"ל Errico. "הרעיון הוא לשים את הדירוג בצד ולקדם רעיונות".

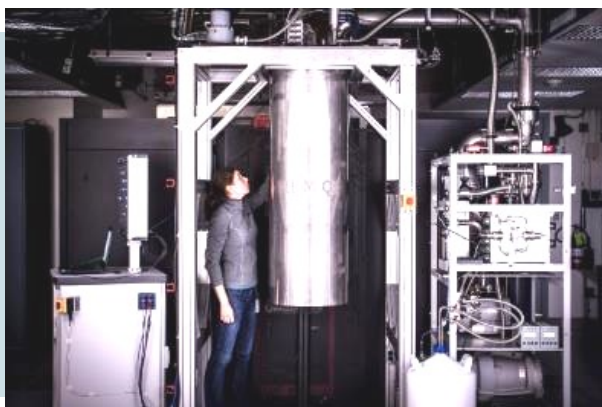
לעת עתה, התוכנית מהווה פיילוט בחסות פיקוד העתידים של הצבא ([Army Futures Command](#)),

מחשוב קוואנטי: מזעור ללא קירור קריאוגני

62

1 באוקטובר 2021

מחשב קוואנטי של IBM מודל 2017. מכיל מעבד קוואנטי של 16 qubit. נראה בתמונה במיכל קירור קריאוגני (IBM Research)



חברת הזנק אוסטרלית (ושת"פ בגרמניה) [Quantum Brilliance](#) שהוקמה ב-2019 באוניברסיטה הלאומית האוסטרלית, מפתחת מאיץ קוואנטי בגודל כרטיס מחשב גרפי שיעבוד בטמפרטורת החדר.

[Quantum computing hits the desktop, no cryo-cooling required](#)

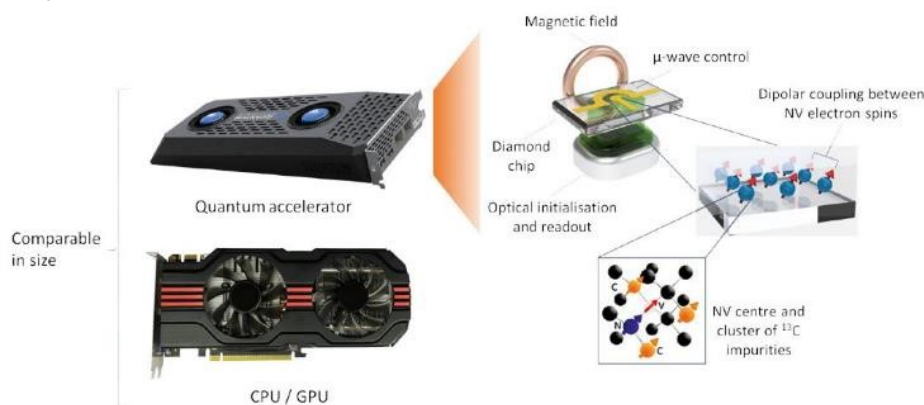
מחשב קוואנטי מבוסס על יכולת למדוד ולשמר לפרק זמן מסוים תופעה קוואנטית כמו ספין או מטען של חלקיק, קיטוב של פוטון, מס' פוטונים ועוד (ראו סקירה על טכנולוגיות קוואנטיות בגיליון זה). המימוש השכיח כיום מבוסס על על-מוליכים או יונים כלואים. מערכות אלו דורשות קירור עמוק כדי לאפשר את התופעה עצמה (במקרה של על-מוליכות), זמן חיים מספיק לבצע חישוב מועיל בהתבסס על התופעה הקוואנטית (שמירת קוהרנטיות), והקטנת רעשים. לכן מערכות הממשות [קיוביטים](#) הן מורכבות, גדולות (בוודאי לא ניידות) ויקרות מאוד –דורשות בידוד מכאני, ואקום עמוק, קירור עמוק (מתחת ל-10-15m°K), נפח 2-1 מ"ק לכליאת אטומים בודדים, מעטפת ממתכות μ לסיכוך משדות מגנטיים חיצוניים ועוד.

ספין אטומי גם פחות רגיש לתנודות תרמיות מאשר ספין אלקטרוני – מה שמאפשר עבודה בטמפרטורות החדר. הטכנולוגיה עצמה של קיוביטים ניסיוניים בטמפרטורת החדר קיימת כבר כ-20 שנים. החידוש של החברה הוא היכולת לייצר אותם בדיוק ובהדירות סבירה, כמו גם באינטגרציה ומזעור של מערכות הבקרה הנדרשות. דבר זה מנע בעבר את אפשרות הסילום של הטכנולוגיה מעבר לכמה קיוביטים בודדים. בהשוואה לטכנולוגיות אחרות, התוצאות של יהלום בטמפרטורת החדר טובות יותר. מקבלים זמני קוהרנטיות של מילישניות יחסית ל-100-150 מיקרושניות וכן קצבי שגיאות טובים מאוד [לא מוזכר כמה. עורך הידיעה].

זמן קוהרנטיות (או זמן שמירת המצב הקוואנטי) גדול, משמעותו שניתן לבצע חישובים מורכבים וארוכים יותר יחסית לטכנולוגיות קיוביטים אחרות.

לחברה מפת דרכים לפיתוח של כחמש שנים ליצירת מחשב קוואנטי שימושי (-50 קיוביטים בגודל כרטיס גרפי של מחשב). טכנולוגיות אחרות אינן יכולות לעבור מזעור כמו זו. לכן היעד הוא מחשב או מאיץ קוואנטי שמשגי מחשב קלאסי בגודל, משקל והספק דומה. להשגת תועלת מסחרית נדרש שהמאיץ הקוואנטי יהיה טוב מרכיבים במחשבי העל ולא כתחליף למחשב העל בעצמו.

מאיץ קוואנטי בן כ-50 qubits. מתוכנן ל-2025, בגודל של כרטיס גרפי סטנדרטי (Quantum Brilliance)



בהמשך הם יהיו קטנים מספיק למכשירים ניידים. אם החברה תעמוד בהבטחתה, אזי מחשב קוואנטי יהיה נגיש בצורה חסרת תקדים.

מחשב קוואנטי שולחני ובדרך למכשירים ניידים (Quantum Brilliance)



החברה פיתחה טכנולוגיה לייצור, סילום [scaling], ובקרה של קיוביטים המוטבעים ביהלום מלאכותי. כל קיוביט או צומת חישוב מורכבים מפגם (hole) בשריג הגבישי של היהלום שלידו יש אטום חנקן (Nitrogen- NV Vacancy) ומקבץ ספינים אטומיים: של החנקן ושל עוד לפחות 4 אטומי איזוטופ ^{13}C (זה כשלעצמו מאפשר, פוטנציאלית, מספר קיוביטים לכל NV). הספין האטומי הזה מהווה את התכונה הקוואנטית הנדרשת לקיוביט בעוד שה-NV משמש לאתחול וקריאת מצב הקיוביט וכן לפעולות בתוך ובין קיוביטים. חישוב קוואנטי נשלט באמצעות קרינת RF, ושדות אופטיים ומגנטיים. מצע היהלום הקשיח מאפשר יציבות של התכונות.

תהיה זו מעבדת החדשנות הראשונה באוסטרליה למחשוב קוואנטי. בהמשך יוצב דגם כזה בגרמניה. השותף הגרמני בעל קריירה ארוכה מאוד ב-IBM בתחום המחשוב הקוואנטי, יקדם את הטכנולוגיה הזו באירופה. עיקר הפער שיש להשלים הוא יכולת ייצור בקנ"מ תעשייתי. להערכתם, זו אומנם משימה קשה אולם בשל ניצול טכנולוגיות של תעשיית הסיליקון זה צפוי להצליח.

שימושים אפשריים למחשוב קוואנטי הם סימולציות מכל סוג, לרבות סימולציות של תופעות קוואנטיות בעצמן [החזון המקורי של ריצ'רד פיינמן. עורך הידיעה], פיתוח תרופות, פיתוח אלקטרודות לסוללות, ייצור אנרגיה, מתמטיקה של הכפלת מטריצות (המהווה את המסד של למידת בינה מלאכותית), ובעיות אופטימיזציה מורכבות.

[תקשוב](#)

החזון של החברה הוא אינטגרציה פשוטה לכל קשת המחשבים (ובהמשך העולם הנייד כולו). קיוביטים מבוססי יהלום יכולים להוות רכיב במחשב אישי המאפשר יכולת חישוב קוואנטית כאשר יש לה יתרון. כך התוכנה תיכתב עדיין בשיטות קלאסיות ותנצל את יכולת החישוב הזו כשנדרש, בדיוק כמו בכרטיסי מאיץ גרפיים. החברה בנתה מספר מחשבים קוואנטיים עם 5 קיוביטים בגודל של מסדים תעשייתיים ותספק אותם ללקוחות לצרכי אינטגרציה ולימוד לקראת המוצר המתוכנן ב-2025.

בהמשך זה יכול להתפתח גם למחשב קוואנטי על שבב, היות שבסופו של דבר זו טכנולוגיה של הנדסת חומרים. המערכת תוצב ברבעון ראשון ב-2022 ב-Pawsey שהוא מרכז מחשוב העל הגדול בחצי הדרומי של כדה"א, בבעלות [CSIRO](#) ואוניברסיטאות נוספות, לצרכי לימוד ונגישות.

63

צי ארה"ב בוחן טכנולוגיית 5G לתקשורת עם כלים לא מאוישים

17 בספטמבר 2021

[AT&T to use 5G and MEC for naval research](#)

חברת התקשורת האמריקאית AT&T תתקין ציוד תקשורת סלולרי מהדור החמישי (5G) בבית הספר ללימודים מתקדמים של צי ארה"ב

(US Naval Postgraduate School NPS) במטרה לבחון את אפשרויות השימוש באורכי גל מילימטרי לתקשורת עם כלים לא מאוישים באוויר, על הקרקע ובים. ההתקשרות היא במסגרת הסכם תלת-שנתי שנחתם בין בית הספר והחברה בשנת 2020.

[תקשוב](#)

תקשורת מבוססת

בלוקצ'יין תסייע לניהוג רובוטים

5 באוקטובר 2021

[Blockchain technology could provide secure communications for robot teams](#)

בעת האחרונה אנו שומעים על בלוקצ'יין בהקשר של רכישת ומכירת מטבעות דיגיטאליים (מטבעות קריפטו). בלוקצ'יין היא יכולת טכנולוגית מבוססת מחשוב המאפשרת פעילות עסקית מאובטחת באינטרנט ואימות של עסקאות בין צדדים שונים ללא צורך בישות ניהול מרכזית. חוקרים במכון הטכנולוגי של מסצ'וסטס (MIT) בשיתוף עם האוניברסיטה הפוליטכנית של מדריד פרסמו כי יכולת זו יכולה להיות רלוונטית מאוד לתפעול של נחילי רחפנים וזאת בשל עמידותה בפני חדירה של פצחנים (האקרים) אשר יכולים לשבש את התקשורת בין היחידות השונות הפועלות כחלק מהנחיל.

הרעיון המרכזי מאחורי בלוקצ'יין הוא יצירת מערכת לניהול עסקאות ללא גורם מרכזי מנהל. באופן מסורתי, בסיס הנתונים המרכזי של גורם

מנהל מהווה את החוליה החלשה באבטחת מידע, שניתן לחדור אליה, לשנותה או לפגום ברשומותיה. הבלוקצ'יין, לעומת זאת, מנוהל באופן מבוזר, בתפיסת קוד פתוח. אנשים שונים במחשבים שונים בונים מעין סולם דיגיטלי של עסקאות, הכולל נתונים מוצפנים. אחת ליחידת זמן נכתבים הנתונים לבלוק. בתום זמן מסוים, ננעל הבלוק, ומצטרף כמעין שרשרת (Chain) לבלוקים הקודמים. כך יוכל רובוט המשמש כ"מנהיג" בנחיל לשדר הודעות עם סימן זיהוי מסוים (מעין token) והרובוטים ה"מובלים" יאשרו באם ההודעה אותנטית ע"י כך שישוו ביניהם את אמיתות ה-token. אם מספר ה-tokens הלא-אמיתיים יעבור סף מסוים, הרובוטים יידעו שזה שמשדר אותות מזויפים הוא רובוט ש"פוצח" ואין להאמין להודעותיו. זהו יישום בלוקצ'יין של חוכמת המונים המאפשר לכלל נחיל הרובוטים להחליט לאיזה הודעות להאמין ולאיזה לא.

[תקשוב](#)

טכנולוגיות

מכשיר של צי ארה"ב יוכל למנוע מאנשים לדבר

65

— 24 באוגוסט 2021

[Sneaky US Navy feedback device could stop people being able to speak](#)

מכשיר חדש שפותח על-ידי חוקרים בצי ארצות הברית, אמור לגרום לכך שאנשים לא יהיו מסוגלים לדבר. המכשיר, המכונה A Handheld Acoustic Hailing and Disruption (AHAD) מקליט את הדברים שאדם אומר באמצעות מיקרופון ארוך-טווח, ואז משמיע לו את המילים בהפרש זעיר. מדובר בתופעה דומה לזו ממנה סובלים אנשים המדברים בטלפון ושומעים את קולם מהדהד – דבר שמפריע מאד לשטף הדיבור שלהם. המכשיר מתואר בפטנט שאושר באוגוסט 2021, ובמסגרתו מתואר שימוש גם ברמקול פרמטרי, המסוגל להפיק צלילים בכיוונים מסוימים, כך שרק "הקורבן" יוכלו לשמוע אותם.

בדרך זו ניתן להקשות על האדם לדבר, מבלי שאיש מסביב יבין את הסיבה לכך. עדיין לא ברור האם המכשיר כבר קיים ונוסה. עם זאת, ידוע שצי ארצות הברית מוביל בפיתוח כלים אקוסטיים לטווח-הארוך, כרמקולים רבי-עוצמה המשמיעים רעש חזק שגורם להמונים להתפזר. לפי סופי סקוט, נירולוגית באוניברסיטת הקולג' בלונדון, משוב בעיכוב פוגע ביכולתו של הדובר לשלוט בקולו. חלק מהאנשים פשוט מפסיקים לדבר. אחרים מתחילים לגמגם או לסבול משיבושים בדפוס דבריהם, עם הברות ארוכות יותר. ישנם גם כאלו שיוכלו להמשיך לדבר בכל מקרה. "זה יפריע מאד לחלק מהאנשים, אך בוודאי לא לכולם", אמרה סקוט.

[טכנולוגיות](#)

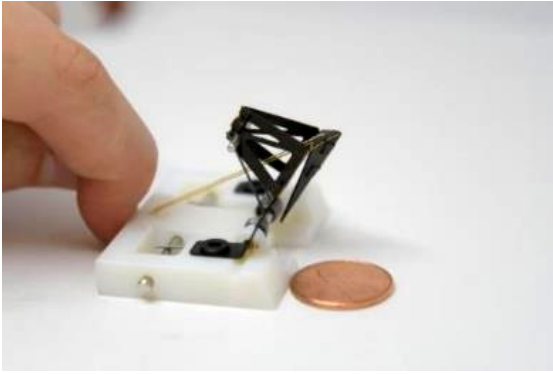
מנגנון רובוטי מחקה חבטה עוצמתית של חסילון

66

— 9 בספטמבר 2021

[Small, mighty robots mimic the powerful punch of mantis shrimp](#)

במחקר הנתמך ע"י צבא ארה"ב, חוקרים מאוניברסיטאות הארווארד ודיוק בנו רובוט



לדברי החוקרים, השילוב של מודלים פיזיקליים ואנליטיים יכול לסייע לביולוגים להבין ביצועים יוצאי דופן של בעלי חיים, ולסייע לרובוטיקאים לחקות ביצועים כאלה ברובוטים. יש בטבע ביצועים רבים שראויים לחיקוי, למשל הדילוגים המרשימים של צפרדעים. לדעת החוקרים, ארכיטקטורות של מפעילים (אקטואטורים) כמו זה שנבנה בפרויקט הנוכחי מציעות יכולות מרשימות עבור מנגנונים קטנים וקלי משקל ליישומים צבאיים.

סרטון: <https://youtu.be/lf4IURa2Joo>

[טכנולוגיות](#)

המחקה את התנועות והמכניקה של חסילון מנטיס (סוג של סרטן), המצטיין בחבטת-מחץ החזקה במידה יוצאת דופן. הפיתוח עשוי להוביל להתקנים רובוטיים קטנים אך רבי עוצמה, ליישומים צבאיים.

הזרועות דמויות-האלה של החסילון מאיצות מהר יותר מקליע של רובה. מכה אחת יכולה לנתק צבת של סרטן גדול או לרסק את שריונו. המנגנון מבוסס על עיקרון מכאני מוכר של שחרור האנרגיה האלסטית של קפיץ דרוך, אבל החסילון שכלל מאוד מנגנון כזה. ע"י חיקוי מדויק של גיאומטריית הפיזיולוגיה של החסילון, החוקרים השיגו תאוצות העולות פי 10 על אלו של מנגנונים רובוטיים אחרים. לאחר בניית הרובוט, החוקרים יכלו גם לפתח מודל מתמטי של התנועה. הם מיפו שלושה שלבים נפרדים של חבטת החסילון, וניתחו מאפיינים שונים שלה (פרטים בכתבה המקורית), שהודות להם המנגנון הוא כל כך מהיר ויעיל.

שבבים מעופפים – בהשראת זרעים

67

— 22 בספטמבר 2021

[Helicopter-shaped microchip is smallest flying structure ever built](#)

מהנדסים באוניברסיטת נורת'וסטרן בארה"ב פיתחו מיקרו-שבבים מעופפים – כנראה העצמים המעופפים הקטנים ביותר מעשה ידי אדם.

הם עוצבו בהשראת זרעים מעופפים, בצורת מדחפים זעירים ה"לוכדים" את הרוח כדי לטוס. השבבים המעופפים עשויים להיות שימושיים בניטור סביבתי, גילוי זיהומים, ועוד.

הרכיבים כוללים חיישנים, מקור כוח, זיכרון ואנטנה. ההתקן יוכל לשמש לניטור הסביבה, עם יכולת של חישת זיהומים, חלקיקים באוויר, חומציות של מים, חשיפה לשמש, מעקב אחר מחלות, וכו'. כל ההתקן ידידותי לסביבה ומתפרק בתום משימותיו. לצורך כך הוא עשוי מפולימרים מתפרקים, מוליכים הניתנים למיחזור כקומפוסט, ומעגלים אלקטרוניים ההופכים לתוצרים ידידותיים לסביבה כשהם נחשפים למים. מאמר מדעי:

Three-dimensional electronic microfliers
inspired by wind-dispersed seeds,
<https://www.nature.com/articles/s41586-021-03847-y>
סרטון: <https://youtu.be/x6gB1hKjDys>

The tiny new winged microchip,
next to an ant for scale

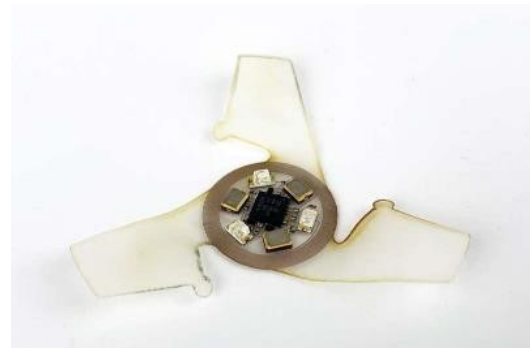


[טכנולוגיות](#)

הם עוצבו בהשראת זרעים מעופפים, בצורת מדחפים זעירים ה"לוכדים" את הרוח כדי לטוס. השבבים המעופפים עשויים להיות שימושיים בניטור סביבתי, גילוי זיהומים, ועוד. במחקרים קודמים פותחו מערכות המיועדות להטלה מרחפנים קטנים או אפילו מחרקים, אבל הפעם נקטו בגישה שונה, בהשראת זרעי צמחים כגון עץ אדר (מייפל), שצורתם כצורת מדחף זעיר. החוקרים עיצבו את ההתקנים הזעירים תוך חיקוי האווירודינמיקה של הזרעים, וזאת בעזרת מודל ממוחשב של מעוף זרעים שונים.

התוצאה הסופית היא מעין רחפן זעיר בגודל פחות ממילימטר אחד, שבנוי מרכיבים אלקטרוניים המצטופפים במרכז שבין שלושה כנפונים, והכל מורכב על מצע של גומי. הרכיבים האלקטרוניים מעניקים להתקן מרכז כובד נמוך, וכך מאפשרים לו "לתפוס" את הרוח.

The winged microchip is made up of electronic components at the center, with three wings that catch the wind. Northwestern University



68
רובוט רך מתגלגל,
בנוי בהדפסה 4
ממדית

22 בספטמבר 2021

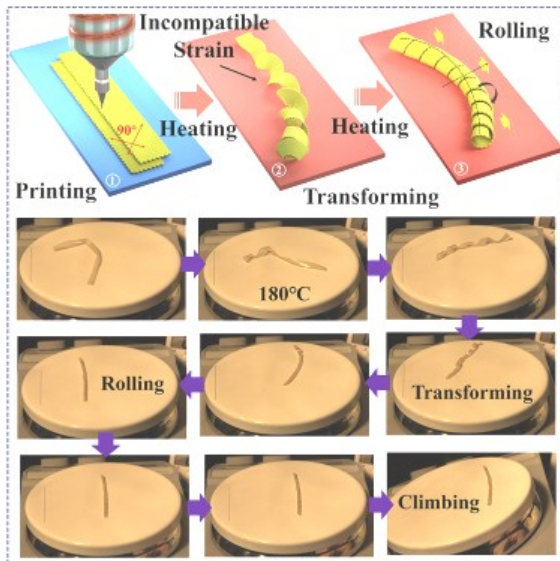
חוקרים מאוניברסיטת טיאנג'ין בסין בנו רובוט רך בעל צורה גלילית, המודפס בהדפסה ארבע-ממדית (4D), המרכיב את עצמו בהשפעת חימום

[Watch these tube-shaped robots roll up stairs, carry carts, and race one another](#)

מאמר מדעי:

"4D-printed untethered self-propelling soft robot with tactile perception: Rolling, racing, and exploring" [www.cell.com/matter/fulltext/S2590-2385\(21\)00408-2](http://www.cell.com/matter/fulltext/S2590-2385(21)00408-2) ,

תמונה מתוך המאמר המדעי:



[טכנולוגיות](#)

ויכול להתגלגל במעלה של מדרון ולנווט את דרכו בסביבה בלתי צפויה. בדומה לחרק בעל מחושים, הרובוט יכול להתגבר על מכשול קטן. כשהמכשול גבוה מדי, הוא פונה לאחור. כל זאת בצורה אוטונומית לחלוטין. צורת המוצא של הרובוט היא יריעה מלבנית של אלסטומר גביש נוזלי המודפסת בהדפסה תלת-ממדית. כאשר המשטח שמתחת ליריעה מחומם, הרובוט מתפתל ויוצר מעין צינורית הדומה לקפיץ. שינוי צורה זה מוסיף את ממד הזמן לתהליך ההדפסה, וכך התהליך הופך להדפסה ארבע-ממדית. לאחר מכן המגע עם המשטח החם גורם למעוות בחומר, מה שגורם לרובוט להתגלגל בכיוון מסוים. הכוח המניע הוא חזק עד כדי כך שהרובוט יכול לטפס בשיפוע של 20 מעלות, ואפילו לשאת משא שמשקלו פי 40 ממשקל הרובוט עצמו. אורך הרובוט משפיע על מהירותו: רובוט ארוך יותר יתגלגל מהר יותר.

החוקרים צילמו סרטוני וידאו (כלולים בכתבה המקורית) המראים את כישורי הרובוט בסביבות מכשולים שונים, כולל מירוץ בין רובוטים בגדלים שונים ורובוט הגורר מעין עגלה.

לקראת ייצור תעשייתי של ננו- צינוריות בורון

69

16 בספטמבר 2021

חוקרים במעבדת PPPL (Princeton Plasma Physics Laboratory) הפועלת באוניברסיטת פרינסטון עבור משרד האנרגיה של ארה"ב,

[Scientists demonstrate pathway to forerunner of nanotubes that could lead to widespread industrial fabrication](#)

ניטריד הבורון (boron-nitride). התברר שצבירים מספיק קטנים של אטומי בורון מגיבים בקלות עם מולקולות חנקן. לביצוע החישובים המדויקים נדרשה מומחיות בכימיה קוואנטית כמו גם במכניקת זרימה. לננו-צינוריות בורון (BNNT) יש תכונות דומות לאלו של ננו-צינוריות פחמן, שכיום כבר מיוצרות בכמויות ומיושמות במוצרים שונים. הקושי בייצור של ננו-צינוריות בורון הגביל עד היום את היישומיות שלהן. המחקר החדש פתח פרק חדש ביכולת הסינתזה של BNNT, לקראת ייצור תעשייתי.

מאמר מדעי:

Boron nitride nanotube precursor formation during high-temperature synthesis: kinetic and thermodynamic modelling, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6528/ac1c20>

[טכנולוגיות](#)

פיתחו תהליך כימי לקראת ייצור תעשייתי מעשי של ננו-צינוריות של בורוןניטריד (boron nitride - BNNT). מדובר על ננו-חומר החזק מפלדה ובלתי דליק, שיכול לשמש למגוון רחב של יישומים, כולל רכבים צבאיים וחליפות חלל. בין היתר, הוא יכול לשמש כמגן מפני קרינה עבור אסטרונאוטים. מרכיב המפתח בתהליך הוא יצירת חנקן מולקולרי וצבירים קטנים של אטומי בורון, אשר יכולים להגיב כימית ביניהם. התהליך מתחיל בשימוש בסילון פלאזמה בטמפ' של 10,000 מעלות, המאפשר להפוך את הבורון ואת גז החנקן לפלאזמה המכילה אלקטרונים חופשיים ויונים, בתוך "גז רקע". לאחר מכן באים שלבים נוספים (פירוט בכתבה המקורית).

המחקר פתר תעלומה בנוגע לאופן שבו חנקן מולקולרי, המצטיין בקשר הכימי השני בחוזקו בין המולקולות הדו-אטומיות, יכול להתפרק תוך כדי ריאקציה עם בורון וליצור מולקולות שונות של

כיול מיקרופונים ע"י חישת לייזר

70

7 בספטמבר 2021

[Laser Doppler vibrometry brings more accurate microphone calibration](#)

בין השניים ולוודא כי ביצועיהם שווים. במאמר שפורסם לאחרונה ציינו חוקרים במכון התקנים האמריקני (NIST) כי בעזרת טכנולוגית מדידת רעידות מבוססת לייזר דופלר (Laser Doppler Vibrometer, או LDV) ניתן לבצע כיוול זה בדיוק רב וללא מגע פיסי. השיטה מתבססת על העובדה כי תנודות של ממברנה כלשהי, הנוצרות

כיוול מיקרופונים נדרש במגוון של יישומים כגון תחנות למדידת עוצמות רעש, ציוד מדידת קול וציוד אקוסטי בכלל. כדי לכייל מערכות אקוסטיות, נדרש בדרך כלל למקם מיקרופון ייחוס בסמוך למיקרופון הנמדד על מנת להשוות

פרט לדיוק שהושג, ציינו החוקרים כי שיטתם עובדת באוויר הפתוח בעוד שהשיטות המקובלות עד היום מחייבות עבודה בתוך שכולו מלא בגז מימן, תהליך האורך כ- 20 דקות בכל מדידה ומדידה.

[טכנולוגיות](#)

מקול, גורמות לשינויי דופלר של הממברנה, שניתן למדוד באמצעות לייזר המוקרן אל המשטח ומוחזר לגלאי ייעודי. אותם שינויים ניתנים למדידה כמותית אשר מתורגמת למנעד התגובה של המשטח לקולות בתדרים שונים.

71

גילוי יעיל של נייטרונים ע"י דיודה אנכית

— 22 בספטמבר 2021

[Effective neutron detection using vertical-type B GaN diodes](#)

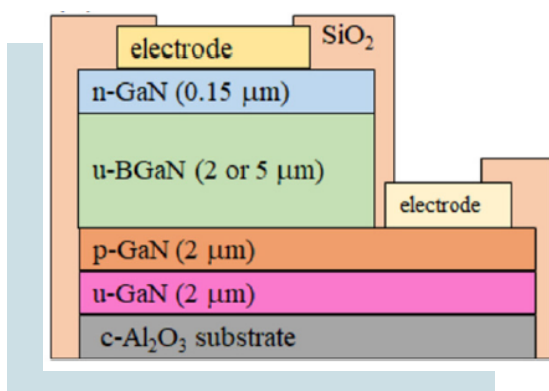
צוות חוקרים שעיקרו באוניברסיטאות יפניות מדווח במאמר מדעי על התקן לגילוי נייטרונים. ההתקן מבוסס על דיודה אנכית מהמוליך למחצה B GaN (בורוןגאליום ניטריד). לגילוי של נייטרונים יש חשיבות במספר תחומים, בהם הגנת גבולות ומניעת תפוצה של חומר גרעיני, רפואה, בדיקות אל-הרס (NDT) של חלקי מתכת, וניטור כורים. לחלק מהטכנולוגיות הקיימות לגילוי נייטרונים יש מגבלות, למשל גלאים המבוססים על גז מוגבלים ע"י הזמינות הנמוכה של האיזוטופ הליום-3. חלק מהגלאים המבוססים על גבישים מתקשים להבדיל בין נייטרונים לבין לקרינת גמא.

במאמר: T. Nakano et al., J. Appl. Phys. 130, (2021); doi: 10.1063/5.0051053 (124501)

שפרסמו החוקרים בכתב עת וותיק לפיזיקה יישומית הם מדווחים על התקן חדש המבוסס על דיודה אנכית.

מדובר בדיודה מסוג PIN, המבוססת על המוליך למחצה B GaN, כמתואר באיור. החוקרים הצליחו לשפר את יעילות הגילוי באמצעות שיפור תהליך הייצור של החומר הנ"ל. רוב המאמר עוסק במדידות של גילוי נייטרונים, ומידול והסבר של התהליכים השונים המתרחשים בזמן ההקרנה.

חתך צד סכמטי של מבנה הדיודה



[טכנולוגיות](#)

התקן לייזר מורכב ממערך לייזרים זעירים

— 4 באוקטובר 2021

[VCSELS made to act together as one in 'topological laser' array](#)

חוקרים ישראלים וגרמניים פיתחו מערך המורכב מלייזרים ניצבים קטנים רבים הפועל כמקור אור אחד, וכל זאת בנפח של גרגר חול. פריצת דרך זו של חוקרי הטכניון וחוקרי אוניברסיטת וירצבורג פורסמה לאחרונה במאמר משותף בכתב העת Science. ויקסלים (VCSELS) הם התקני לייזר זעירים הממלאים תפקיד חיוני במגוון רחב של פיתוחים טכנולוגיים ובהם טלפונים סלולריים, חיישני רכב ורשתות של סיבים אופטיים לתעבורת נתונים. ממדיהם הזעירים, שהם כמובן בגדר יתרון עצום ביישומים אלה ואחרים, מציבים מגבלה על הספק האור הנפלט מהם. במילים אחרות, הם מייצרים קרינה מוגבלת מאוד בעוצמתה. במשך שנים מנסים מדענים להגביר הספק זה באמצעות חיבור של ויקסלים זעירים רבים ואילוץ לפעול כלייזר קוהרנטי בודד, אך עד כה לא הושגה הצלחה משמעותית בכך. מכאן חשיבותה של פריצת הדרך: לייזר קוהרנטי המורכב מוויקסלים רבים. המפתח להישג זה טמון בסידור גיאומטרי ייחודי של הוויקסלים על השבב הפוטוני; סידור זה, המאלץ את האור לנוע במסלול ספציפי, מבוסס על פלטפורמה של מבודד טופולוגי פוטוני. מבודדים טופולוגיים הם חומרים קוואנטיים מהפכניים המאופיינים בכך שעל פני השטח

שלהם הם מוליכים חשמל, ויתר על כן, מוליכים אותו ללא אובדן אנרגיה, ואילו בתוכם הם מבודדים, כלומר אינם מוליכים חשמל כלל. קבוצת המחקר של פרופ' מרדכי שגב מהטכניון יישמה רעיונות חדשניים אלה בתחום פוטוניקה כבר לפני כמה שנים כשהציגה את המבודד הטופולוגי הפוטוני הראשון. במערכת זו נע האור סביב שוליו של מערך דו-ממדי של מוליכי-גל, כאשר תנועה זו אינה מושפעת מנוכחות של פגמים או אי-סדר. מחקר זה פתח תחום מחקר חדש המכונה כיום "פוטוניקה טופולוגית" ומעסיק מאות קבוצות מחקר ברחבי העולם. בשנת 2018 פיתחה קבוצת המחקר של פרופ' מחקר שגב דרך להשתמש בתכונות של מבודדים טופולוגיים פוטוניים כדי לגרום ללייזרים רבים להינעל יחד ולפעול באופן קוהרנטי כלייזר בודד. אך עדיין, גם במערכת זו הייתה מגבלת הספק: האור הבוקע מהלייזרים נפלט בתוך המישור של השבב הפוטוני, אשר הוא גם אותו מישור בו האור התקדם בין לייזר ללייזר. פליטת האור בתוך המישור הגבילה את היכולת להוציא את האור ממערך הלייזרים בצורה יעילה ויצרה צוואר בקבוק. פירושו של דבר שההתקן המוציא את האור החוצה מגביל מאוד את הספק המוצא, בדומה לשקע חשמל בודד המשמש תחנת כוח שלמה. פריצת הדרך הנוכחית מבוססת על שיטה אחרת: הלייזרים "ננעלים" באמצעות מעבר פוטונים בין הלייזרים בתוך מישור השבב

לאחר דרך ארוכה עשינו עכשיו צעד גדול לקראת טכנולוגיה אמיתית שיש לה יישומים רבים. קבוצת המחקר בישראל ובגרמניה השתמשו בעקרונות של פוטוניקה טופולוגית עבור מערך של ויקסלים הפולטים אור באופן אנכי, בניצב למישור השבב הפוטוני, ואילו התהליך הטופולוגי האחראי לקוהרנטיות הגורם לויקסלים לפעול כלייזר יחיד מתרחש במישור השבב. התוצאה הסופית היא לייזר עוצמתי אך קומפקטי ויעיל מאוד שאינו מוגבל על ידי מספר הויקסלים ומבלי שיופרע על ידי פגמים או שינויי טמפרטורה. "העיקרון הטופולוגי של הלייזר הזה יכול לעבוד באופן כללי על כל אורכי הגל ולכן על מגוון של חומרים", מסביר פרופ' קלמבט מאוניברסיטת וירצבורג. "המספר של מיקרו-לייזרים אשר ניתן לחבר בצורה זו יהיה תמיד תלוי לחלוטין ביישום. אנו יכולים להרחיב את רשת הלייזרים לרשת גדולה מאוד, ובעיקרון היא תישאר קוהרנטית גם במספר גדול של לייזרים. נהדר לראות שטופולוגיה, שבמקור היא ענף של מתמטיקה, הפכה להיות ארגז כלים חדש ומהפכני לשליטה, הנחיה ושיפור תכונות של לייזר." מחקר פורץ הדרך הדגים כי מבחינה תיאורטית וניסויית אפשר לאחד ויקסלים כדי להשיג לייזר יעיל ביותר על שבב פוטוני. על כן, תוצאות המחקר סוללות את הדרך לפיתוחן של טכנולוגיות עתידיות בתחומים רבים ובהם סלולר, התקנים רפואיים, תקשורת ותחבורה.

[טכנולוגיות](#)

הפוטוני, אבל האור נפלט כעת בניצב לשבב, בוקע מהמשטח, ולכן מאפשר לקבץ את אלומת האור הכוללת בקלות. פרויקט מחקר ישראלי-גרמני זה יצא לדרך בתקופת מגפת הקורונה ולכן הצריך מחויבות רבה במיוחד של כל החוקרים המעורבים. את המחקר ערכו הדוקטורנט אלכס דיקופולצב מקבוצת המחקר של פרופ' מחקר שגב, בשיתוף פעולה עם הדוקטורנט ערן לוסטיג וד"ר קובי לומר מהטכניון, וע"י הדוקטורנט טריסטן הארדר מקבוצת המחקר של פרופ' סבסטיאן קלמבט ופרופ' סוון הופלינג מאוניברסיטת וירצבורג (Würzburg) בגרמניה בשיתוף עם חוקרים מוינה ומאולדנבורג. "מרתק לראות כיצד המדע מתפתח", אמר פרופ' שגב. "מעקרונות חדשניים בפיזיקה בסיסית עברנו לשינויים יסודיים בפיזיקה הטופולוגית וכעת יצרנו טכנולוגיה אמיתית אשר חברות מסחריות כבר מגלות בה עניין. בשנת 2015, כשהתחלנו לעבוד על לייזרים מבודדים טופולוגית, איש לא האמין שזה אפשרי מפני שהידע על פיזיקה טופולוגית באותו זמן היה מוגבל למערכות שאינן מכילות הגבר – ויותר מכך – אינן יכולות להכיל הגבר. אבל לייזרים מבוססים על הגבר, ולכן הרעיון של לייזרים מבודדים טופולוגיים עמד בניגוד לכל מה שהיה ידוע באותו הזמן. היינו כמו חבורה של "הזויים" המחפשת משהו שנחשב לבלתי אפשרי.

73 הפנטגון: נדרשים מקורות אנרגיה חלופיים לצבא

21 באוקטובר 2021

המגמה של הפנטגון למעבר לכלי רכב ולמערכות נשק חשמליים עומדת בפני דילמה.

[Pentagon Needs More Electrical Power to Protect Forces: Panel](#)

מוסותרים ובמרחק בטוח יותר מהישג ידו של האויב.

עמית אחר העריך שלצבא ייקח 30 שנה לעבור לרכב חשמלי, שבמהלכן הזמינות של מנוע הבעירה הפנימית הקונבנציונלי תהפוך לבעייתית, ושרשרת האספקה תצטרך להתאים עצמה לביקוש של שני סוגי המנועים.

חברי הפאנל גם יעצו לפנטגון להסתכל מעבר ליצרני האנרגיה הנוכחיים ולתמוך בפריצת דרך בטכנולוגיות הסוללות. הם הציגו צורך ליצור תוכנית פיילוט במשרד ההגנה לחיפוש אחר ספקי אנרגיה חלופיים.

עד שנת 2025, ארגון המחקר צופה כי הקיבולת העולמית לייצור תאי ליתיום תתרחב כמעט פי ארבעה: מ-316 ג'יגה-ואט-שעה (GWh) ל-1,211 GWh, עם ירידה יחסית בחלק האמריקני מהייצור הכולל.

[טכנולוגיות](#)

סין שולטת בחלק הארי העולמי בייצור סוללות ליתיום-יון עבור מערכות כאלו (ע"פ בלומברג סין שולטת ב-73% מיכולת הייצור העולמית בשנת 2019 ואחריה ארה"ב עם 12%).

פאנל של מומחי אבטחה העלה את הנושא באומרו שהרחבת פריסת הכוחות של צבא ארה"ב ברחבי העולם דורשת יותר מקורות של כוח חשמלי וכי הפנטגון צריך למצוא חלופות לאספקת האנרגיה שכן השיטות הנוכחיות יקרות. כל זאת קורה כאשר צבא ארה"ב החל בקידום מסיבי לכלי רכב חשמליים ומערכות נשק לייזר הדורשים אנרגיה חשמלית. אחת מעמיתות הפאנל העלתה הצעה לשימוש בכורים גרעיניים זעירים נייזים, רכובים על משאיות, כמו במסגרת פרויקט Pele, שמטענים מחדש את הסוללות בבסיסי הפעלה מרוחקים. חברי הפאנל הסכימו להצעתה וציינו שיש לשמור את הכורים הנייזים



נוס' הטלפון במפא"ת
03-6976081

