

תוכנית החלל של ישראל

היסטוריה, המצב הנוכחי והתחזית לעתיד

מדינת ישראל הצליחה בתוך תקופה קצרה לפתח תוכנית חלל, תוך שהיא נשענת על תשתית מרשימה מאוד של טכנולוגיות חלל שפותחו באקדמיה, בתעשייה ובמערכת הביטחון. תוכנית החלל הישראלית תואמת את היכולת המדעית והטכנולוגית של המדינה וכן את היכולת הכלכלית שלה, והדבר בא לידי ביטוי בכך שכל הלוויינים שהיא שיגרה - לוויינים טכנולוגיים, לווייני תצפית ולווייני תקשורת - הם קטנים, אך עתירי ביצועים

תא"ל (מילי) ד"ר חיים / ראש תוכנית הלוויינות • עמנואל / מרכז מידע בתוכנית הלוויינות

מבוא

תוכנית החלל של ישראל לא נולדה יש מאין ולא הוגשה לישראל על-ידי מעצמה ידידותית על מגש של כסף. התוכנית נהגתה וקודמה על-ידי קבוצת אנשים ממערכת הביטחון, מהתעשיות הביטחוניות ומתעשיות ההיי-טק. הם עשו זאת לאור צרכים בתחום המודיעין, שהם קריטיים לביטחונה הלאומי של ישראל, ושניתן לתת להם מענה באמצעות טכנולוגיות חלל.

התוכנית הישראלית גובשה בראשית שנות ה-80 לאחר לימוד מעמיק של תוכניות החלל ושל הטכנולוגיות שפותחו על-ידי שתי מעצמות העל, ארצות-הברית וברית-המועצות, החל משנות ה-60. לאחר שמעצמות העל פרצו את הדרך לחלל, הצטרפו למאמץ מדינות האיחוד האירופי

(בעיקר צרפת וגרמניה), שהקימו את סוכנות החלל האירופית ESA, ואחריהן באו גם סין, הודו ויפן. כל אלה פיתחו תעשיות חלל נרחבות ובנו משגרים ולוויינים לסוגיהם השונים - צבאיים, מדעיים ומסחריים.

בתוך תקופה קצרה הבינו גם מדינות קטנות ובינוניות שהשליטה בטכנולוגיות חלל ובמערכות חלליות אינה רק מכפיל כוח חשוב בתחום הצבאי, אלא משמשת מנוף חיוני לפיתוח תעשיות היי-טק בתחומים שונים ומגוונים ותורמת להעלאת רמת המדע והטכנולוגיה של המדינה המפתחת.

מייד עם סיום מלחמת העולם השנייה החלו שתי מעצמות העל - ברית-המועצות וארצות-הברית - במחקר ובפיתוח של טילים בליסטיים בסיועם של מדענים גרמנים, הכוונה העיקרית הייתה ליצור מאגר של טילים בליסטיים, חמושים בראשי-נפץ גרעיניים, במסגרת המאבק האסטרטגי בין שתי מעצמות העל. בדיעבד התברר שטילים בליסטיים כאלה אפשר להפוך ללא קושי למשגרי לוויינים. ואכן פריצת

הדרך הראשונה אל החלל נעשתה, כידוע, על-ידי ברית-המועצות, כששיגרה באוקטובר 1957 את הלוויין הראשון שהקיף את כדור-הארץ - הוא "ספוטניק-1". ברית-המועצות, שכל הפעילות החללית שלה בוצעה על-ידי גופים צבאיים, טענה שפעילויות החלל שלה הן לצורכי שלום בלבד. ארצות-הברית, לעומתה, הקימה ב-1958 את סוכנות החלל האזרחית שלה, הקרויה נאס"א, וזו הופקדה על פיתוחו של חקר החלל למטרות מדעיות ואזרחיות, ובידיה

הופקדה כל הפעילות שהביאה, בין השאר, לנחיתת אדם על הירח. אף שהמירוץ אל הירח נעשה במסגרת הפעילות המדעית והאזרחית של סוכנות החלל, הרי האסטרונאוטים של ארצות-הברית - כמו הקוסמונאוטים של ברית-המועצות - היו כמעט כולם אנשי צבא. לאיש לא היה ספק שההתמודדות הזאת בין שתי מעצמות העל התנהלה במסגרת המאבק האסטרטגי ביניהן.

התפתחות נושא החלל בארצות-הברית

בפיתוח טכנולוגיות חלל לצרכים צבאיים עוסק משרד ההגנה של ארצות-הברית באמצעות הסוכנויות השונות וזרועות הצבא: חיל האוויר, חיל הים וצבא היבשה. לכל זרוע יש פיקוד חלל נפרד, ומעליהם ישנו פיקוד החלל של ארצות-הברית. ברחבי ארצות-הברית פזורים 11 מרכזים של נאס"א, וכל אחד מהם עוסק בתחומים ספציפיים של טכנולוגיות החלל וגם בהפעלת מעבורות החלל, טלסקופ החלל ולווייני המחקר ששוגרו על-ידי נאס"א. בתחום הצבאי יש לחיל האוויר האמריקני מעבדות מחקר העוסקות במחקר ובפיתוח בתחומים רבים של טכנולוגיות חלל צבאיות. בניית משגרי לוויינים ולוויינים לסוגיהם נעשית באמצעות חברות תעשייתיות גדולות, המשתתפות במכרזים שמוציאים משרד

תוכנית החלל של ישראל לא נולדה יש מאין ולא הוגשה לישראל על-ידי מעצמה ידידותית על מגש של כסף

והם המשיכו לשגר לחלל סדרה אחר סדרה של לווייני צילום: "סמוס", מידאס", "ארגון" ו"לניארד". ב-1963, למשל, לא סיפקה תוכנית "סמוס" אף לא צילום מועיל אחד מהחלל.

במסגרת תוכנית "ארגון", שנועדה לצורכי מיפוי, נבנו 14 לוויינים, שמתוכם שוגרו 11 למסלול חללי, אך רק שלושה מהם פעלו כהלכה. במסגרת תוכנית "לניארד" נבנו חמישה לוויינים, שלושה מתוכם שוגרו לחלל, אך רק אחד מהם סיפק צילומים.

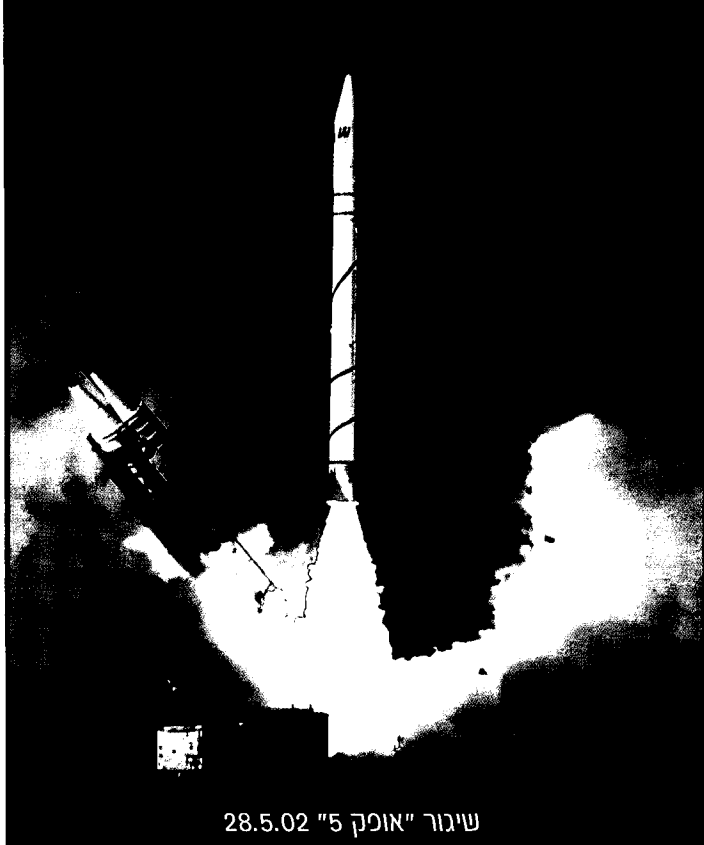
מנתונים אלה אנו למדים שהשליבים הראשונים של תוכניות החלל האמריקניות סבלו מכישלונות רבים, ונדרשו שנים רבות של פיתוח ושל ניסויים כדי להגיע לבשלות.

תוכניות הצילום החלליות של משרד ההגנה האמריקני חולקו לארבע רמות:

- רמה A – צילום שטחים גדולים, של מיליוני מייל רבועים.
- רמה B – צילום שטחים מוגבלים, ששטחם מאות אלפי מייל רבועים.
- רמה C – צילום יעדים נקודתיים, ששטחם מאות מיילים רבועים.

רמה D – צילום יעדים של מודיעין טכני, המכסים שטחים של כמה עשרות מייל רבועים ואף פחות מזה. כל לוויין היה מותאם לרמה מסוימת. החל מתחילתה של תוכנית "קורונה", בראשית שנות ה-60, נקראו המצלמות האופטיות שהותקנו בלוויינים Key-Hole, ובקיצור KH. כל מצלמת KH קיבלה מספר סידורי עוקב שביטא את הרזולוציה של הצילומים. ב-1963 היו המצלמות בעלות

רזולוציה של כשלושה מטרים. התוכנית נמשכה בשנים 1964-1965, תוך שהרזולוציה של המצלמות הולכת ומשתפרת ומגיעה לחצי מטר. התוכנית של לווייני "קורונה" ו"גמביט" נמשכה עד יוני 1967. 36 מתוך 38 הלוויינים שיוצרו במסגרת התוכנית האלה שוגרו בהצלחה, אולם אורך חייהם הממוצע היה 5.5 ימים בלבד. חלפו עוד עשר שנים. בדצמבר 1975 שוגר במסגרת



שיגור "אופק 5" 28.5.02

ההגנה ונאס"א.

הצילום האווירי לצורכי מודיעין פותח כבר במלחמת העולם הראשונה והגיע להישגים ניכרים במהלך מלחמת העולם השנייה, אולם קיבל מכה אנושה ב-1960, עם הפלתו של מטוס הריגול המשוכלל של ארצות-הברית מדגם "יר-2" ונפילתו בשבי של טייסו. ארצות-הברית נאלצה להודות שהיא הפעילה מטוסי ריגול מעל ברית-המועצות, ומובן שטיסות אלה הופסקו.

ארצות-הברית לא יכלה להרשות לעצמה

להישאר ללא קבלת נתונים אמינים על מצבם של מאגר הנשק הגרעיני ושל מטרות אסטרטגיות אחרות בברית-המועצות. כך החל פיתוח קדחתי של צילום באמצעות לווייני צילום מהחלל. כדי שיישמר מאזן האימה ההדדי בין שתי מעצמות העל, נקבע שהשימוש בחלל יהיה חופשי לכול, ומעבר לוויינים מעל לשטחה של מדינה מסוימת לא יחשב להפרת ריבונותה. כבר ב-1955 החל תכנונם של לווייני הצילום הראשונים של ארצות-הברית. הכוונה הייתה שלוויין הצילום ישוגר באמצעות טיל "אטלס", יהיה מבצעי ב-1963, ושהרזולוציה של התמונות תהיה כ-6 מטרים.

כאמור, הלוויין הרוסי "ספוטניק-1" שוגר באוקטובר 1957 (משקלו היה כ-90 ק"ג), ומייד אחריו, בנובמבר, שוגר "ספוטניק-2" (משקלו היה כ-500 ק"ג). ההישג המפתיע הזה של הרוסים יצר בארצות-הברית כורח דחוף להחיש את פיתוח הלוויינים. תאגיד המחקר "ראנד" פיתח קונספט לבניית לוויין צילום, שניתן להחזיר מהחלל לכדור-הארץ את מטען הצילום הייעודי שלו. האחריות להפעלתם

של לווייני הצילום ניתנה לסוכנות הביון המרכזית ("סי-איי-אי"), שהפעילה גם את מטוסי ה"יר-2". לתוכנית הפיתוח של לווייני הצילום ניתן השם "קורונה". הלוויינים שנשאו את המטעדים של "קורונה" כונו "דיסקוורר". 18 לווייני "דיסקוורר" שוגרו עד 7 בדצמבר 1960. רובם נכשלו בשל תקלות במשגרים, בלוויינים עצמם ובמטעדי הצילום ואבדו – בעיקר באוקיינוס. הכישלונות לא ריפו את ידי האמריקנים,

כדי שיישמר מאזן האימה ההדדי בין שתי מעצמות העל, נקבע שהשימוש בחלל יהיה חופשי לכול, ומעבר לוויינים מעל לשטחה של מדינה מסוימת לא יחשב להפרת ריבונותה

פריגיאה² של כ-107 מייל, הייתה הפריגיאה שלו לא פחות מ-164 מייל. היה זה הניסוי הראשון של לוויין שכונה KH-11 בשל המערכת האלקטרואופטית שלו. החלק המהפכני שבו הייתה מצלמת CCD (Charge Couple Device), שאיפשרה לשדר את צילומי המטרות כמעט בזמן אמיתי אל תחנת הקרקע. מערכת התקשורת של לוויין כזה משדרת את נתוני הצילומים ללווייני תקשורת שחגים בגובה רב, וכל אחד מהם יכול לשדר את הנתונים לתחנות קרקע הנמצאות בארצות הברית. השיטה האלקטרונית לשידור תמונות אל הקרקע מאפשרת ללווייני הצילום החדשים לשהות במסלול מספר שנים, וזאת בהתאם לכמות הדלק שהם מכילים לצורך תיקוני המסלול ולשינויים בגובהו. מאז ועד עתה השתכללה שיטה זו עד מאוד, וכך פועלים היום כל לווייני הצילום שחגים סביב כדור הארץ.

התפתחות הלוויינים בישראל

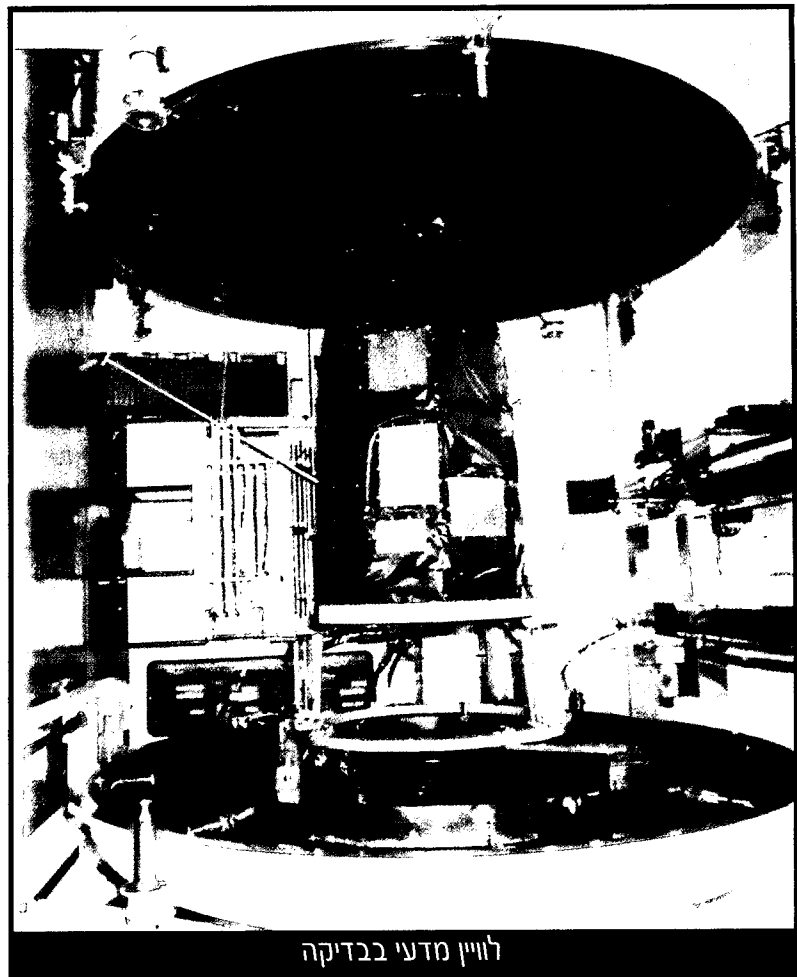
אנשי מערכת הביטחון ואנשי התעשיות הביטחוניות בישראל, שעסקו בנושא החלל בשנות ה-80 וה-90, למדו מהניסיון שהצטבר בעולם, וכך יכלו להתמקד בתכנון לווייני צילום שיהיו בחזית הטכנולוגיה. בשל הפער בין קני המידה שלפיהם תיכננה ארצות הברית את מערכות הלוויינים

הצבאיים שלה, לעומת קני המידה שלפיהם צריכה הייתה ישראל לפעול, ברור מאליו שכל השוואה בין השתיים היא בלתי אפשרית.

ישראל תיכננה את מערכות השיגור החלליות ואת לווייני הצילום שלה לפי נתוני הזירה שבה היא נדרשת לפעול. המפתחים לקחו בחשבון את סוגי המטרות האסטרטגיות והטקטיות, את רמת הפירוט הדרושה לגבי סוגי המטרות, את רציפות הכיסוי הדרושה והתחשבו במהות המכשולים הטבעיים והמלאכותיים שבפניהם יעמדו הלוויינים בעת ביצוע משימותיהם. במערך השיקולים הזה כלולים גם אילוצים בטיחותיים, גיאוגרפיים ופוליטיים ביחס למיקום השיגור ולכיוונו.

כידוע, שיגרה עד עתה ישראל שני לוויינים ראשונים להוכחת הקונספט,

ואחריהם שוגרו שלושה לווייני צילום, שאחד מהם הוא לוויין צילום מסחרי. שיגור אחד נכשל במהלך התוכנית בשל תקלה במשגר. ישראל ממשיכה לשפר ולשדרג את מערך השיגור



לוויין מדעי בבדיקה

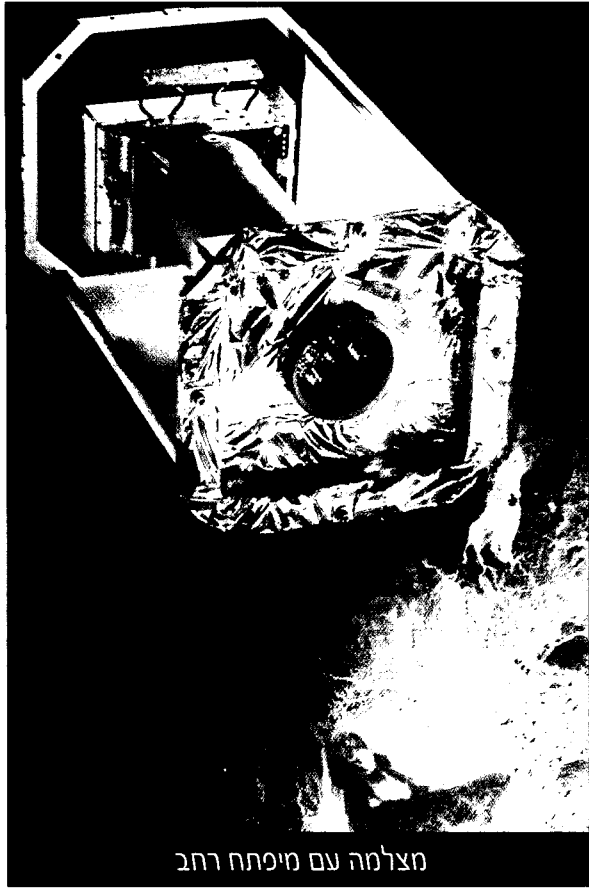
תוכנית Key-Hole לוויין צילום, שצויד במצלמת KH-9. במועד זה מלאו 15 שנה להפעלת התוכניות השונות לשיגור לווייני צילום, ובמהלכן שוגרו 200 לוויינים, כולל הלוויין ששוגר בדצמבר 1975. באותה עת כבר היה אורך חייהם של לוויינים לצילום מקרוב (מגובה נמוך) 50 ימים, ואילו לווייני הצילום של שטחים גדולים פעלו במשך חמישה חודשים.

גם איכות הצילומים שופרה, והרזולוציה של מצלמות KH-9 לצילום מגובה רב הייתה כמעט זהה לרזולוציה של מצלמת KH-7, ששימשה לצילומים מגובה נמוך. הצילומים היו כל כך מפורטים, עד כי נראה היה כאילו צולמו מגובה של 100 מטר מעל למטרות, כשלמעשה הם צולמו מגובה של מאות קילומטרים.

באותו שלב הצליחו מפתחי הלוויינים להביא לקפיצת מדרגה ביכולת ניצולם:

בדצמבר 1976 שוגר באמצעות משגר "טייטן" לוויין צילום למסלול קוטבי, אולם נתוני המסלול שלו היו שונים מאלה של הלוויינים הקודמים שנשאו מצלמות KH-9. במקום

מדינת ישראל הצליחה בתוך תקופה קצרה לפתח תוכנית חלל, תוך שהיא נשענת על תשתית מרשימה מאוד של טכנולוגיות חלל שפותחו באקדמיה, בתעשייה ובמערכת הביטחון



מצלמה עם מיפתח רחב

באמצעות מכ"ם מסוג SAR, ואשר מצוידים באנטנות בעלות מפתח סינתטי, שיכולים לצלם בכל שעות היממה ובכל מזג אוויר, גם דרך כיסוי עננים.

לווייני מודיעין אלקטרוני

כבר במלחמת העולם השנייה הפעילו המעצמות הגדולות מטוסי קומינט לקליטת שידורי תקשורת רדיו וטלפוניה וכן מטוסי אלינט לקליטת אותות ממערכי מכ"ם, שנועדו להגנה נגד מטוסים. אולם המערכות נגד מטוסים המשופרות של מדינות רבות מהוות סיכון גדול למטוסים כאלה. לכן המדינות שיש להן יכולת מפעילות בחלל לווייני סיגינט (המשמשים הן לקליטת קומינט והן לקליטת אלינט).

לווייני צילום היפר-ספקטריים

בשנים האחרונות מופעלים לווייני צילום ניסיוניים לצילום היפר-ספקטרי (ביצוע במקביל של צילום אופטי ושל הדמיות על-ידי חישנים בטכנולוגיות שונות). ייחודן של מערכות צילום היפר-ספקטרליות הוא בכך שהן מאפשרות לקבוע את הרכב החומרים שמהם עשויות המטרות

שלה וכן את לווייני הצילום עצמם. אנשי המקצוע חושבים כיצד לפתח ולבנות לווייני צילום, שיוכלו לצלם 24 שעות ביממה.

עם הקמתו של משרד המדע ב-1982, בראשותו של פרופסור יובל נאמן, נוצרה גם במה אזרחית עם זיקה לחלל. בתיאום עם מערכת הביטחון הוקמה ב-1983 סוכנות החלל הישראלית (סל"ה), המטפלת בעיקר בהיבטים האזרחיים והמדעיים של תחום החלל. כיום סובבים בחלל גם שני לוויינים אזרחיים ישראלים: לוויין התקשורת "עמוס", ששוגר מגיניאה הצרפתית ב-1995, ולוויין מדעי "טכסאט", ששוגר מהבסיס הרוסי בקזחסטן ב-2000.

הנתונים האופייניים הזירה

המדינות שעלולות להיות יריבות פוטנציאליות ולשמש בסיסים לפעולות עוינות מקיפות את ישראל מכל הכיוונים. אין הכרח שהלוויינים הישראליים יצלמו שטחים גדולים של המדינות האלה, כיוון שניתן לרכוש צילומי שטחים גדולים בשוק הלוויינים המסחריים, כגון "לנדסאט" האמריקני ו"ספוט" הצרפתי ואפילו מלוויינים מסחריים רוסיים. אבל את המטרות האסטרטגיות והטקטיות עצמן יש לצלם ברזולוציה הגבוהה ביותר האפשרית.

התדירות והרציפות של הצילומים

כדי לוודא כיסוי רציף ותדירות גבוהה בצילום חוזר של מטרות ספציפיות יש צורך בלוויין צילום נוסף, שישוגר למסלול מסונכרן עם השמש ושיעבור באופן תקופתי מעל למטרות מוגדרות לעדכון נתונין. ניתן לעשות זאת גם באמצעות לווייני צילום מסחריים, המשמשים הן לצרכים צבאיים והן לקוחות אזרחיים (לוויינים דרשימושיים).

שידור נתוני הצילום לעיבוד ולהפצה

כדי לאפשר את קבלת נתוני הצילום קרוב מאוד לזמן אמיתי בתחנת קרקע, שתעסוק בעיבוד הנתונים ובהפצתם, וכדי לא להפסיד זמן במהלך הקפתו של הלוויין צריך יהיה לשדר את הנתונים מלוויין הצילום אל לוויין תקשורת, שמסלולו יהיה גיאורביטרוני, והוא ישדר את הנתונים אל תחנת הקרקע ישירות, בלי להפסיד את זמן ההקפה.

פיתוחים עתידיים בעולם

לווייני צילום במכ"ם מסוג SAR

כידוע, לווייני צילום רגילים יכולים לצלם רק בשעות האור וכשאין כיסוי עננים מעל המטרות. בעשר השנים האחרונות פותחו לוויינים המצלמים

את המטרות האסטרטגיות והטקטיות עצמן יש לצלם ברזולוציה הגבוהה ביותר האפשרית

בארצות-הברית מתנהל ויכוח בין מפקדי הצבא לבין המדינאים על הצורך להגן על נכסי החלל. מפקדי הצבא דורשים לפתח אמצעי הגנה אקטיביים, כלומר מערכות חלליות וקרקעיות, שיאפשרו להשמיד כל מערכת חללית של מדינה עוינת, שמטרתה להפריע להפעלתם הסדירה של נכסי החלל של ארצות-הברית. מובן שלצד אמצעי ההגנה האקטיביים יש צורך גם באמצעים פסיביים להגנה על לוויינים בחלל, בין היתר באמצעות הקשחת מערכות אלקטרוניות רגישות בפני אמצעי תקיפה.



מרכז שליטה קרקעי ללוויין "עמוס"

כיוונים בתוכניות חלל עתידיות

תוכניות החלל אמורות לעסוק בקידום טכנולוגיות של לוויינים קטנים – כאלה שיאפשרו ביצועים גבוהים ככל האפשר ביחס לעלות, ויחד עם זה יהיו בעלי משקל נמוך ככל האפשר ביחס לביצועים. בתחום המיוחד הזה יש לישראל יתרון יחסי.

סיכום

מדינת ישראל הצליחה בתוך תקופה קצרה לפתח תוכנית חלל, תוך שהיא נשענת על תשתית מרשימה מאוד של טכנולוגיות חלל שפותחו באקדמיה, בתעשייה ובמערכת הביטחון. תוכנית החלל הישראלית תואמת את היכולת המדעית והטכנולוגית של המדינה וכן את היכולת הכלכלית שלה, והדבר בא לידי ביטוי בכך שכל הלוויינים שהיא שיגרה – לוויינים מדעיים, לווייני תצפית, לווייני תקשורת וגם לוויין שפותח על-ידי הסטודנטים בטכניון – הם קטנים, אך עתירי ביצועים.

שימורה וטיפוחה של היכולת בחלל, שפירותיה הם גם בתחום ההרתעה, מחייבים את המשך ההשקעה הלאומית באפיק הזה.

הערות

1. מטעד – המטען המועיל של הלוויין, כגון מצלמות.
2. פריגייה – הנקודה שבה הלוויין נמצא בקרבה הגדולה ביותר לכדור-הארץ.

המצולמות. במילים אחרות, המערכות האלה מאפשרות להבחין בין מטרות אמיתיות למטרות דמה.

הסיכונים הכרוכים בהפעלת מערכות בחלל

במהלך המלחמה הקרה בין שתי מעצמות העל, ארצות-הברית וברית-המועצות, התרחבה ההתמודדות בין שתי המעצמות גם לתחום החלל. במסגרת ההתמודדות הזאת פיתחו שתי המעצמות מערכות לחימה נגד לוויינים, שמטרתן הייתה לפגוע בלוויינים במסלוליהם בחלל לצורך ניטרולם או השמדתם. מערכות נגד לוויינים גם נוסו בפועל: ארצות-

ישראל תיכננה את מערכות השיגור החלליות ואת לווייני הצילום שלה לפי נתוני הזירה שבה היא נדרשת לפעול

הברית הצליחה לפגוע בלוויין ישן שלה באמצעות טיל. זה פגע בלוויין בעת שחג במסלולו.

כיום, לאחר תום המלחמה הקרה, שוב אין התמודדות בין שתי מעצמות-על, אלא ישנה התמודדות רב-צדדית בין מדינות לא דמוקרטיות, כגון עיראק, צפון-קוריאה, סוריה ואיראן, הנוקטות אמצעי טרור, לבין מדינות דמוקרטיות – ובמיוחד ארצות-הברית וישראל. למדינות הטרור אין כיום אמצעים טכנולוגיים מתקדמים לפגיעה במטרות בחלל, אולם הן יכולות לתקוף תחנות קרקע, הקולטות נתונים מלוויינים או תחנות בקרה ושליטה. כמו כן הן יכולות להפריע למערכות המחשוב המותקנות בלוויינים ועל-ידי כך לגרום לתקלות בבקרה ובשליטה עליהם.

