



הגודל כן קובע: יותר קטן - יותר טוב

בעבר הלא רחוק נוסח "חוק מור", הגורס כי כוח החישוב של המעבדים יכפיל את עצמו אחת ל-18 חודשים, ובאחרונה היו מי שחשבו שהתהליך הזה לא יוכל להימשך הלאה. והנה, בכל זאת, מוכיחים יצרני השבבים שוב ושוב שהם מצליחים לעמוד באתגר. יש לכך השפעה עצומה על פיתוחם של אמצעי לחימה יותר ויותר מתוחכמים

אל"ם (מיל') יעקב צור

גודל ננומטריים, כלומר בגדלים שהם מתחת לערך של 100 ננומטר. (ננומטר אחד הוא אחד חלקי מיליון של מילימטר).

לאור ההישגים בתחום הזה סבורים המומחים כי המרוץ הבלתי פוסק אחר מזעור השבבים עלול להגיע בטכנולוגיה הקיימת לגבול היכולת הפיזיקלית בתוך כ-10 שנים. נראה כי כאשר נתקרב מאוד לגדלים מולקולריים, כבר לא יהיו חוקי התכנון הקלאסיים, ה"ישנים", תקפים, וחוקי הפיזיקה הקוונטית הם שישלטו. לכן מחפשים כבר עתה דרכי פעולה חדשות, שבעזרתן ניתן יהיה להמשיך במזעור עד לממדים המולקולריים. לשם כך פונים המדענים ללמוד מן הטבע. בגוף החי קיימים מבנים מולקולריים זעירים ומדויקים עד מאוד, למשל המולקולות של החומר התורשתי, ה"די-אן-אי", שיש להן גם יכולת של שכפול ושל בנייה עצמית, או השרשראות של חומצות האמינו, שמרכיבות את החלבונים. המידע שנלמד מהטבע עשוי לשמש לבניית מעגלים אלקטרוניים זעירים עוד יותר בתחום הננו-טכנולוגיה - הרבה מעבר

מוכיחים יצרני השבבים שוב ושוב שהם מצליחים לעמוד באתגר. חברת "אינטל" פיתחה שבבים זעירים מסיליקון, שכל רוחבם הוא 70-80 אטומים, ועוביים שלושה אטומים בלבד. זה יאפשר לייצר "חבילות" שיכללו עד מיליארד טרנזיסטורים,

המומחים סבורים כי המרוץ הבלתי פוסק אחר מזעור השבבים עלול להגיע בטכנולוגיה הקיימת לגבול היכולת הפיזיקלית בתוך כ-10 שנים

שיפעלו במהירות אדירה של 20 ג'יגה הרץ (פי 10 ממהירותו של מעבד פנטיום 4). חברת יבמ הכריזה שהיא מפתחת בהצלחה מעבדים קטנים עוד יותר, המבוססים על חומר הנקרא סיליקון-גרמניום.

טיפול ברכיבים כה זעירים מחייב יכולת לבצע מניפולציות בחומר בסדר-

כולכם מכירים את המונח מיקרו-אלקטרוניקה. זהו שמה של הטכנולוגיה המתקדמת, העוסקת במזעור הרכיבים האלקטרוניים עצמם ושל הקשרים ביניהם. במיקרו-אלקטרוניקה אפשר ליצור שבבים אלקטרוניים מורכבים ביותר וזעירים עד מאוד, המכילים הרבה פונקציות פעולה ש"ארוזות" בתוך השבב הקטן. מזעור רכיבי האלקטרוניקה פותח בפנינו מגוון של אפשרויות לפתח ולייצר אמצעים חדשים לשוק הצבאי ולשוק האזרחי - אמצעים שמבחינת הנפח והמשקל שלהם מהווים פריצת דרך לעולם חדש של יישומים.

בעבר הלא רחוק נוסח "חוק מור", הגורס כי כוח החישוב של המעבדים יכפיל את עצמו אחת ל-18 חודשים, ובאחד רונה היו מי שחשבו שהתהליך הזה לא יוכל להימשך הלאה. והנה, בכל זאת,

יועץ למו"פ ביטחוני ותעשייתי



ליכולת שיש בידינו היום.

גם בתחום החומרים ה"קלאסיים" יש עוד מקום לשיפור הביצועים. למשל, חוקרים מחברת "היולט פאקארד" (HP) הצליחו ליצור חוטי סיליקון, שעוביים 3 ננומטרים בלבד, והם מפתחים שבב

המבצעות לפיתוח אמל"ח מציבות לעיתים קרובות מגבלות חמורות על הנפח ועל המשקל של ההתקנים המשולבים בכלי נשק ובחימוש. אנו נתקלים בכך בכל פעם שדנים בציוד שהחייל הרגלי צריך לשאת על גופו,



היום רוצים לצייד את החייל הרגלי בחימוש מדויק, קטן וקל ובמיטב המערכות משובצות המחשבים, האלקטרוניקה והאופטרוניקה

של זיכרון שגודלו 10x10 ננומטר – דבר שיאפשר להגדיל עוד ועוד את יעילותם של התקני החישוב.

מזעור הרכיבים האלקטרוניים עצמם אין בו די. אם רוצים לבנות "מכונות" זעוריות, צריך לטפל גם בהיבטים המכניים. שילוב של מערכות בקרה, הנעה, מדידה ועיבוד על התקן, שממדיו דומים לאלה של שבב אלקטרוני, הוא האתגר שעיימו מתמודדים מדענים העוסקים בפיתוח מערכות מיקרו-אלקטרו-מכניות (הנקראות בלעז MEMS). ראוי לציין, כי בעוד המדענים מתמודדים עם האתגר הזה, כבר מפציע תחום חדש, שיהיה השלב שלאחר מכן במזעור, אולי בעוד עשור, והוא תחום ההתקנים הננו-אלקטרו-מכניים (NEMS), שיפעלו בקנה מידה הדומה לזה של מולקולות ביולוגיות ויוכלו, אולי, ליצור אינטראקציה ישירה עם מערכות ביולוגיות בגוף חי.

השאלה היא למה כל זה נחוץ? מה יהיו היישומים המעשיים של הפיתוחים האלה בתחומים הצבאיים והאזרחיים? נענה על זה בקצרה. הדרישות

היום רוצים לצייד אותם בחימוש מדויק, קטן וקל ובמיטב המערכות משובצות המחשבים, האלקטרוניקה והאופטרוניקה. המזעור אמור לתת מענה לרצון הזה.

במעבדות כבר עוסקים בפיתוח כלי טיס, שכל גודלם הוא כגודל דבורה או אפילו זבוב, ובלי ניצול המיקרו-אלקטרוניקה והתקני MEMS אין להם סיכוי לפעול

אמצעי האלקטרוניקה והמחשוב חדרו כבר מזמן למערכות החמ"ם – חימוש מונחה מדויק. הטילים לסוגיהם השונים מצוידים באמצעי הנחיה וביות, ובאמצעים להרכשת מטרות המשולבים בתוכם, ושחייבים להיות זעירים וקלים. כל עולם החישובים (סנסורים) עובר מהפך בעקבות המזעור, והיום ניתן

להתקין בחימוש רב-חישן, הפועל בכמה תחומים שונים לגמרי במקביל ומשפר לאין ערוך את יכולת הגילוי, האיכון וההרכשה של המטרה. יתר על כן, כיום עוסקים בפיתוח מיקרו-חישובים שונים, שהם בגודל של ראש סיכה ואף פחות מכך, שניתן לפזרם ו"לשתול" אותם בהמוניהם בעומק שטחו של האויב או במפקדותיו ולקבל באמצעותם מידע רב ערך. חישובים זעירים חשובים גם לפעילותם של הלוויינים בחלל.

בכל מגוון האמצעים המוטסים – בעיקר ממשפחת המזל"טים – יש משמעות גדולה לנפח ולמשקל קטנים, מה עוד שכעת כבר בונים מיקרו-מזל"טים בגודל כף יד, שעל אף ממדיהם הזעירים הם מצוידים בכל אמצעי הניווט, הצילום והשידור. במעבדות כבר עוסקים בפיתוח כלי טיס, שכל גודלם הוא כגודל דבורה או אפילו זבוב, ובלי ניצול המיקרו-אלקטרוניקה והתקני MEMS אין להם סיכוי לפעול.

פיתוחו של תחום הרובוטיקה הצבאית מסתמך גם הוא על מיקרו-אלקטרוניקה. החזון של "נחילי" רובוטים זעירים, הפושטים על האויב, כבר אינו חלום באספמיה, וגם הרובוטים, או הכלים האוטונומיים היותר גדולים, יזדקקו למחשבים זעירים סופר-מהירים ולאמצעי תקשורת חדשניים בעלי יכולת גבוהה ונפח קטן. על קצה המזלג נזכיר עוד כי גם בתחום האזרחי-עסקי צפוי שימוש הולך וגובר בהתקנים הזעירים, ולא רק באמצעי התקשורת האישיים. הדבר בולט במיוחד בתחום הרפואה המודרנית, שם מפתחים אמצעים שיחדרו לגוף, יהיו בתוכו ויבצעו בו פעילות רפואית של איסוף מידע, של תיקון נזקים או של סיוע לתפקודו של איבר חי. במקרים מסוימים אף יחליפו האמצעים האלה איברים חיים. השילוב הצפוי בין המיקרו-אלקטרוניקה, ובין המיקרו-אלקטרו-מכניקה ובין הביוטכנולוגיה עתיד להניב פירות רבי ערך למען רווחת האנושות.

