



# סימולציות מערכתיות כתפיסת אימות בפיתוח מערכות מורכבות

ד"ר רחלי קניגסבורג, רפאל  
מאי 2013



## מוטיבציה

- תהליכי האימות והתיקוף של מערכות, ההולכות **וגדלות בהיקפן** מחד, והולכות **וקצרות בזמני הפיתוח** מאידך, **ללא התפשרות על האיכות** הוא בין האתגרים הקשים העומדים היום בפני מהנדס המערכת.
- עבודה זו עוסקת ברתימת הכלי, הנקרא סימולציה מערכתית, לאתגר הנ"ל מתוך רצון **לייעל את תהליכי האימות ולקצר משמעותית את זמני אינטגרציה.**



## תוכן

- סימולציה מערכתית – קונספט המערכת הוירטואלית
- עקרונות השיטה
- קונספט המערכת הוירטואלית – מה זה נותן?
  - בשלבי הפיתוח וברמת תת מערכת
  - בשלבי האינטגרציה ללא חומרה בחוג
  - בשלבי הסימולציות ההיברידיות
  - בשלב חקר הביצועים המערכתי, הכנות לניסויי שדה ופענוחם
- תהליך הפיתוח הכולל והסימולציה המערכתית
- שילוב הסימולציה בתהליך האינטגרציה
- סיכום

# סימולציה מערכתית = קונספט המערכת הוירטואלית

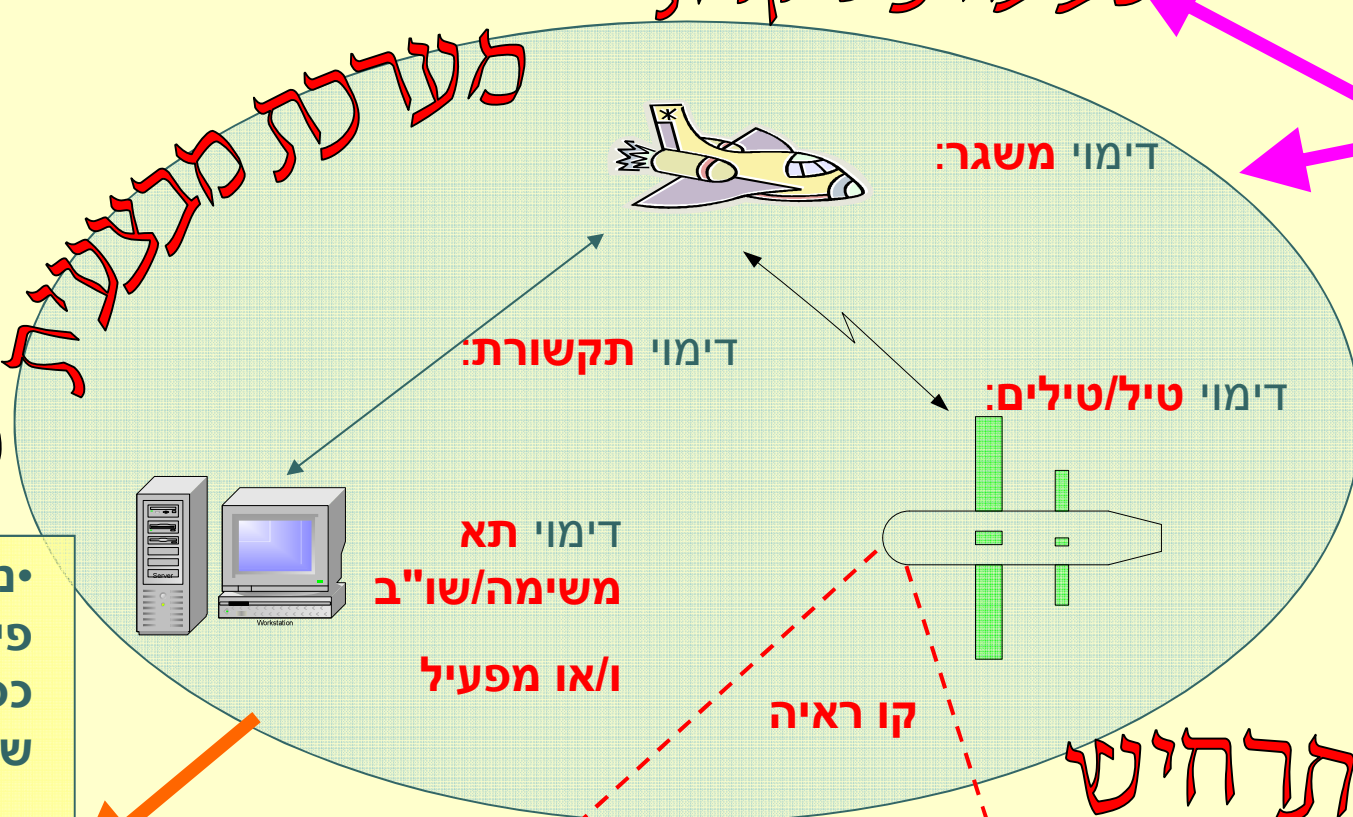


סביבה פיסיקלית

קלט

- תנאי התחלה
- הגדרת תרחיש
- אירועים
- נתוני פרמטרים

מערכת מובצעת פלט



דימוי משגר:

דימוי תקשורת:

דימוי טיל/טילים:

דימוי תא משימה/שו"ב

ו/או מפעיל

קו ראייה

תרחיש

- נתונים פיסיקליים
- כפונקציה של הזמן
- תהליכים לוגיים
- טלמטריה מבצעית



דימוי דינמי של מטרה

דימוי של איום



## כמה מלים על סוגי סימולציות ורמת המידול (FIDELITY)

- ישנם סוגים רבים של סימולציות.
- לפני שבחרים/מיישמים/מפתחים צריך לשאול שאלה אחת חשובה:  
**למה אני צריך את זה?** או במלים אחרות: **מהי מטרת הסימולציה?**  
הטענה לפיה הסימולציה צריכה להיות כזו הדומה ביותר למציאות עלולה להיות בעוכרינו.
- דוגמאות:
  - סימולצית חקר ביצועים מערכתית (סטטיסטיקה ואירועים)
  - סימולציה לפיתוח מיירט
  - סימולציה תומכת אינטגרציה היברידית מערכתית (שיקולי RT)
  - סימולצית פיתוח ברמת מכלול מול סימולצית פיתוח ברמת מערכת
  - סימולציה תפעולית
  - סימולציה לבדיקת עומס חישוב - האם באמת צריך אחת כזו?

# סימולציות ברמה דיסיפלינרית

אימות ברמת מכלול /פונקציה..





# סימולציות ברמה מערכתית

אימות ברמת מערכת..

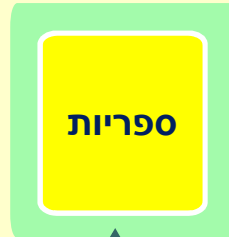
הרכבה ואיחוד של הסימולציות הדיספלינריות לכדי סימולציה מערכתית אחת.

• מצריך תכנון מראש:

- הגדרת הממשק
- הגדרת המבנה
- הגדרת תהליך

האינטגרציה

• דרישות מיוחדות





## קונספט המערכת הוירטואלית - עקרונות

- סימולציה אחת ?
- שיקוף פיזי של המערכת ?
- שיקוף פיזיקלי של המערכת וסביבתה ?
- תמיכה בתהליכים מערכתיים ואינטגרציות:
  - שילוב ICD מבצעי
  - שילוב תוכנה מבצעית ?
- האימות המושג בכל שלב של הפיתוח הוא:
  - בהיבטים של ביצועי מערכת (לדוגמא – דיוקי פגיעה במטרה)
  - בהיבטים של אישור מערכתי של תהליכים ותוכנה



# קונספט המערכת הוירטואלית – מה זה נותן? (1)

## ○ בשלב הפיתוח: סביבת פיתוח ואישור לאלגוריתמי המערכת.

● בשלב הזה האימות הוא ברמת תת מערכת (ביצועים ואישור תוכנה)

### ● דוגמאות:

- אלגוריתמי בקרת טיסה הנחיה ומיסלול ?
- אלגוריתמי תצפית (קו ראייה)
- אלגוריתמי נווט
- אלגוריתמי שו"ב

שיקול פיזיקלי

## קונספט המערכת הוירטואלית – מה זה נותן? (2)

### ○ לפני שלב ה: HIL - כלי להורדת סיכונים בפיתוח בהיבטי אינטגרציה ואישור תוכנה:

?

- יכולת בדיקת תהליכים מערכתיים קצה לקצה (לדוגמא: תהליך שיגור, תהליכי מיתוג אנטנות) עוד לפני הבדיקות הכוללות חומרה (היברידיות) ולפני שיש צב"דים
- יכולת השגת אמינות תוכנה גבוהה משמעותית ע"י שילוב אופטימלי של ממשקים מבצעיים ותוכנה מבצעית כבר בסימולציה.
- שתי היכולות הנ"ל משיגות:
- הורדת סיכונים בתהליכים מערכתיים מורכבים בשלב מוקדם יחסית של הפיתוח
- קיצור זמנים משמעותי בתהליך האינטגרציה. במערכות גדולות זמן זה יכול להמדד בחודשים (קלנדרית) ובשנות אדם (כמותית)!!!! )
- בשלב זה האימות הוא ברמת מערכת (ביצועים ואישור תוכנה)

תמיכה בתהליכים

## קונספט המערכת הוירטואלית – מה זה נותן? (3)

### בשלב האינטגרציה עם HIL: תומך סימולציות היברידיות

- יכולת החלפת מודל או מודול בחומרה אמיתית בצורה מודולרית ופשוטה. תוצאה של מבנה פיזי של הסימולציה, מימוש ICD מבצעי של חלקי המערכת ובתוספת מנגנון ניתוב מידע "חכם".
- מנגנון זה מנתב את המידע בין המודולים בסימולציה. כאשר מודול מסוים מוחלף בחומרה/מכלול אמיתי בסימולטור ההיברידי, מנגנון הניתוב "יודע" שכעת יש לנתב את המידע אליו וממנו במקום למודול המדומה (דרך מחשב הצב"ד) **?**
- כלי יחוס לצרכי פענוח (ו debugging -זכרו – סימולציה אחת!!!)
- בשלב זה האימות הוא בהיבטי אישור מערכת ולא בהיבטי ביצועים

שיקוף פיזי, תמיכה בתהליכים



## קונספט המערכת הוירטואלית – מה זה נותן? (4)

### בשלב חקר הביצועים, הכנות לניסוי שדה ופענוחם:

- כלי הורדת סיכונים בפיתוח מהיבטי אנליזה מערכתית ברת סמך
- כלי לחיזוי התנהגות המערכת\_

#### ● דוגמאות:

- ניתוחי גזרות בטיחות
- בדיקות רגישות
- בדיקות היתכנות
- ניתוחי ביצועים סטטיסטיים
- ניתוח תרחישים

(זכרו – סימולציה אחת!!!)

## קונספט המערכת הוירטואלית – מה זה נותן? (5)

○ הכלי מרכזי לביצוע ניסויים בשיטת "ללכת בלי ולהרגיש עם". ...

ניסויי שדה הם יקרים במשאבים זמן וכסף .

השיטה :

● ביצוע מספר קטן של ניסויי שדה בנקודות מושכלות/אפשריות במעטפת

● פענוח ניסויי השדה בעזרת הסימולציה המערכתית תהליך של תיקון ו/או כוונון פרמטרים במודלים שבסימולציה

● הרצת הסימולציה המערכתית במגוון רחב של "ניסויים" כרצוננו תוך קבלת תוצאות ברות סמך על סמך המודלים המתוקפים מניסויי שדה!!!!

?

(זכרו – סימולציה אחת!!!)

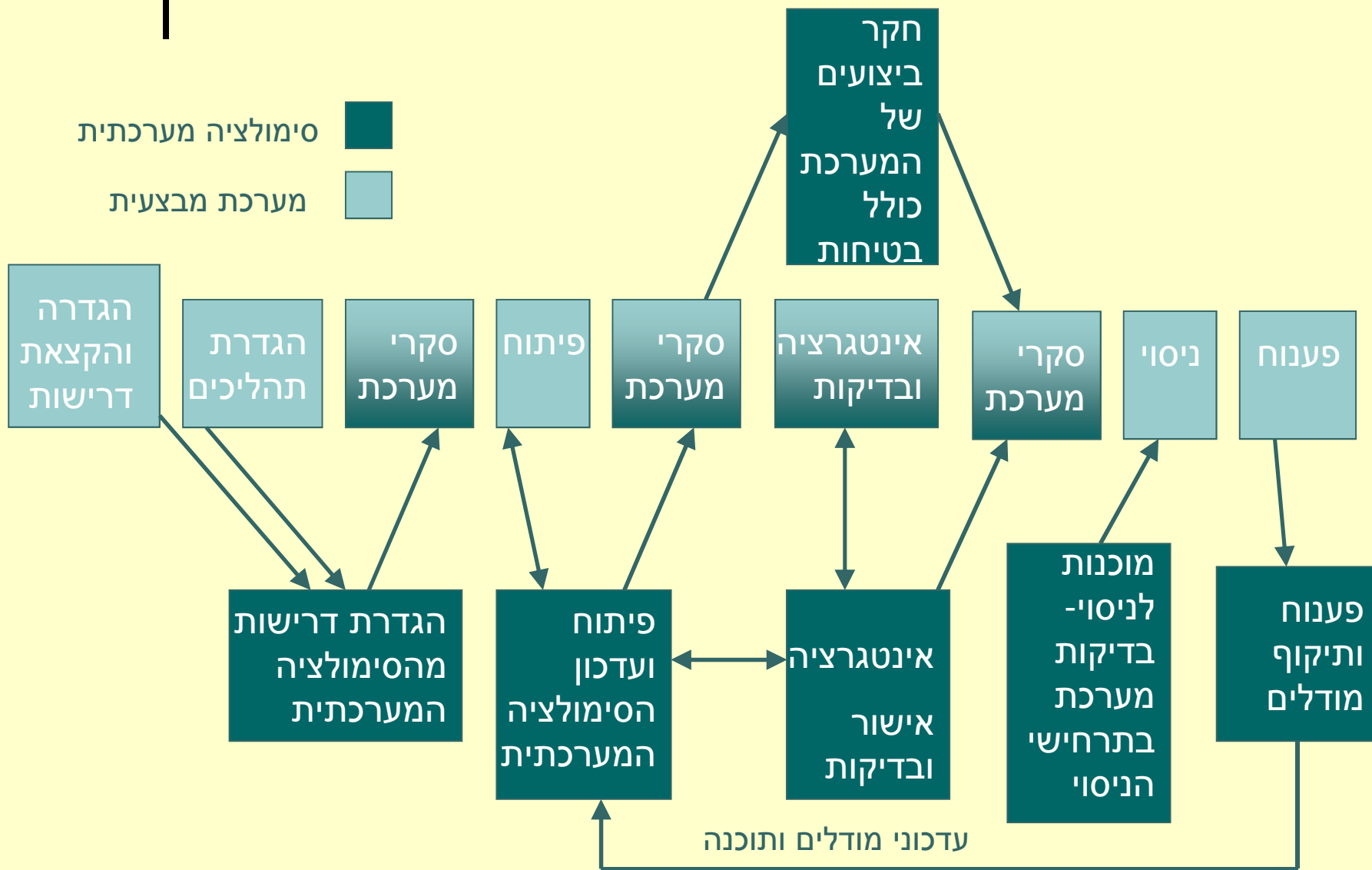
# תהליך הפיתוח הכולל והסימולציה המערכתית



סימולציה מערכתית



מערכת מבצעית



# שילוב הסימולציה המערכתית בתהליכי האינטגרציה

מימוש: שלב א  
Version 1

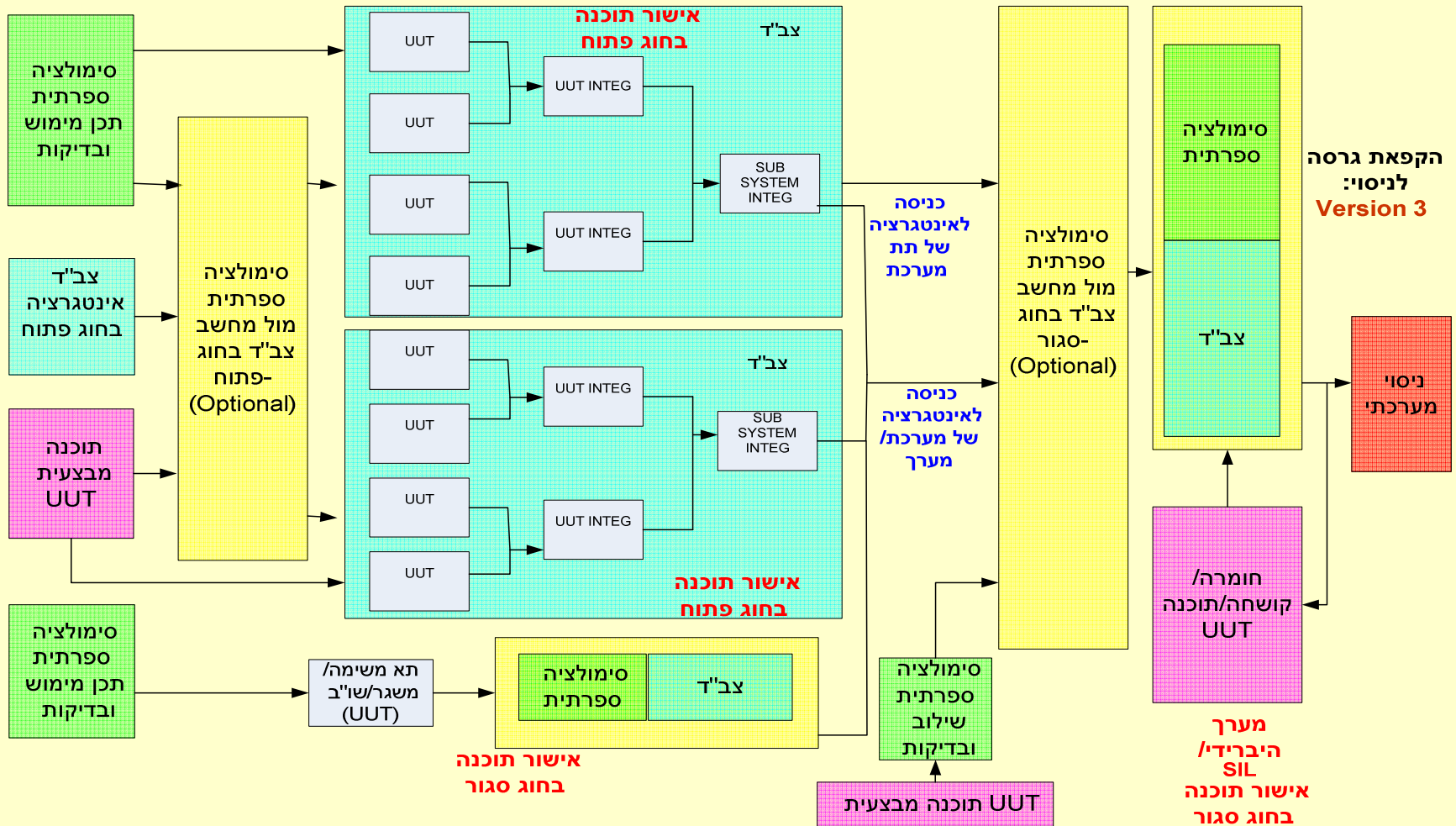
בדיקות: אישור תוכנה  
ושילובים בחוג פתוח:  
All SW

בדיקות: אישור תוכנה  
ושילובים בחוג פתוח:  
HW

מימוש: שלב  
ב: שילובים  
Version 2

בדיקות: שילובים  
בחוג סגור:  
All SW

בדיקות:  
שילובים בחוג סגור  
HW





## סימולציה מערכתית כמערכת וירטואלית - סיכום והמלצות (1)

- הסימולציה המערכתית היא כלי אימות מערכתי וככזאת נדרש להוביל אותה מהנדס מערכת ממנהלת הפרויקט.
- היא מוצר בפני עצמו ולכן יש להגדיר לה דרישות, לבצע לה תכן, לאשר ולתקף אותה (על כל היבטיה: פיזיקליים ותוכנה) - ולסקור אותה ככל מוצר אחר כחלק ובצמוד לתהליכי הפיתוח
- הסימולציה המערכתית תתמוך את האינטגרציה בצורה אופטימלית ע"י שילוב מושכל של תוכנה מבצעית וממשק (ICD) מבצעי.
- סימולציה מערכתית תהיה אחת בפרויקט ותהווה בסיס שיתמוך בתהליכי הפיתוח, האינטגרציה, חקר הביצועים המערכתי ופענוח ניסויים.
- הסימולציה היום היא הכלי העיקרי באימות הביצועים של מערכת בכל המעטפת המוגדרת עבודה (עורכים מעט ניסויי שדה בנקודות עבודה בודדות, מתקפים את הסימולציה ומבצעים את ה"ניסויים" עבור שאר הנקודות במעטפת ע"י ריצות סימולציה). ניסויי השדה משמשים בין היתר לאישור הסימולציה ותיקופה.





## סימולציה מערכתית כמערכת וירטואלית - סיכום והמלצות (2)

- ע"י שימוש בתהליך ובשיטה המתוארת ניתן לקבל:
  - סימולציה המתארת את המערכת והתנהגותה מכל היבטיה ברמת סמך טובה
  - הורדת סיכונים משמעותית בתהליך האינטגרציה בשלבים מוקדמים יחסית, לפני הגעת החומרה
  - קיצור משמעותי של זמני האינטגרציה
  - כלי אמין לחקר ביצועים ולאימות ביצועי המערכת



## כמה מילים על

# תשתית הסימולציה המערכתית והיברידית ברפאל

- התשתית הרפאלית לפיתוח והרצת סימולציות REMUS -
  - לסביבה זו מס' רכיבים עיקריים:
    - ספריה לבניית סימולציות
    - סביבת אפליקציה להרצת סימולציות ולניתוחן
    - סביסה להרצת הסימולציה בסביבה היברידית
- הספריה לבניית סימולציות מטפלת באופן אוטומטי בכל ה"עבודה השחורה" הגנרית לכל הסימולציות (טיפול בקלט/פלט, שיטת אינטגרציה, תשתית מונטה קרלו...) ומפנה את מפתחי הסימולציה להתמקד בדימויים ובאלגוריתמים של הפרויקט

# כמה מילים על תשתית הסימולציה המערכתית וההיברידית ברפאל (2)

הסביבה תומכת בכלי שליבי סגב ההרצה.

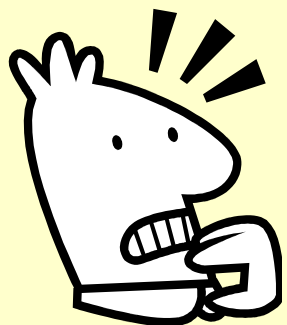
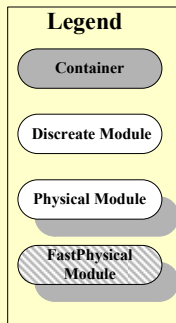
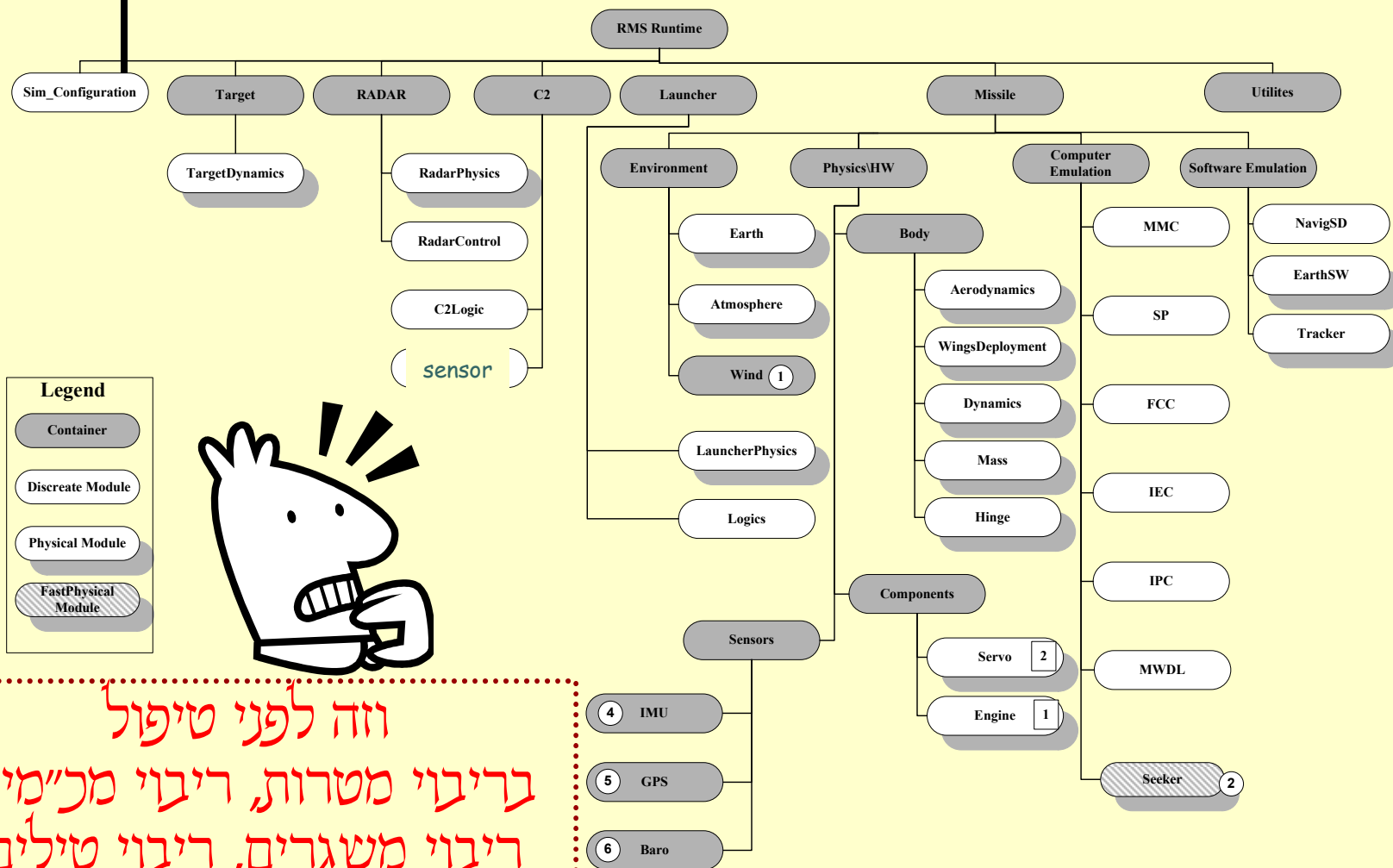
The image displays several software windows related to a simulation environment:

- RemuShell Manager (1.0 BETA):** Shows project configuration for 'MobySystem' with various input files and output options.
- RemuShell:** The main control interface with fields for Project ('CheckCourseDemo'), Base name ('null2'), and EVL ('sim'). It includes buttons for 'Run Execution' and 'Simulation Console'.
- ScidEditor:** A text editor window showing a tree view of simulation components like 'Scenario', 'Planet\_Earth', 'Target', 'Winds', 'Missile2', and 'Engine'.
- Simulation Browser:** Displays event information for 'RangeOfTarget' and 'WindVelocity'.
- Tabulator:** A data table showing simulation results with columns for index, time, failure count, and thrust.
- RPUI Main View:** A configuration window for datasets, showing file paths and simulation parameters.
- 3D Flight Simulator:** A bottom window showing a 3D perspective view of a glider-like aircraft in a virtual landscape.



The End

# מבנה סימולציה מערכתית – דוגמה מהחיים



זוה לפני טיפול  
 בריבוי מטרות, ריבוי מכ"מים,  
 ריבוי משגרים, ריבוי טילים,  
 ועוד נושאים שמסבכים...  
 21



# קונספט המערכת הוירטואלית – שיקוף פיזי של המערכת



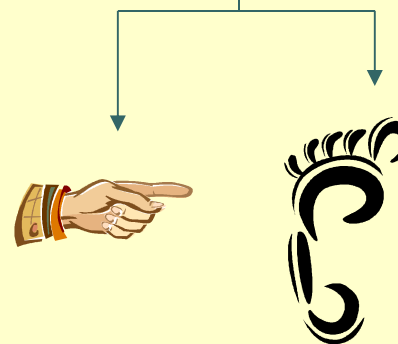
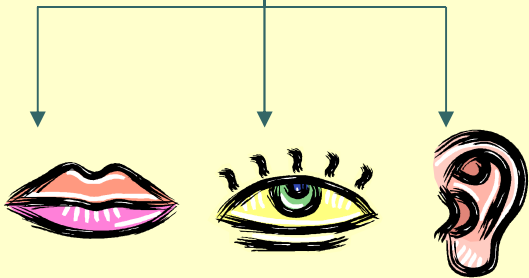
System

Sensors

Processing Unit

Actuators

Propulsion



קונספט המערכת הוירטואלית – שיקוף  
פיזיקלי של המערכת וסביבתה

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

Atmosphere  
model



Wind  
model

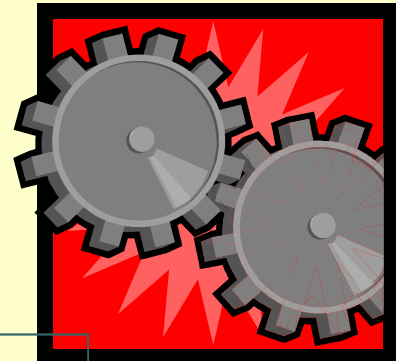


Dynamics  
Equations

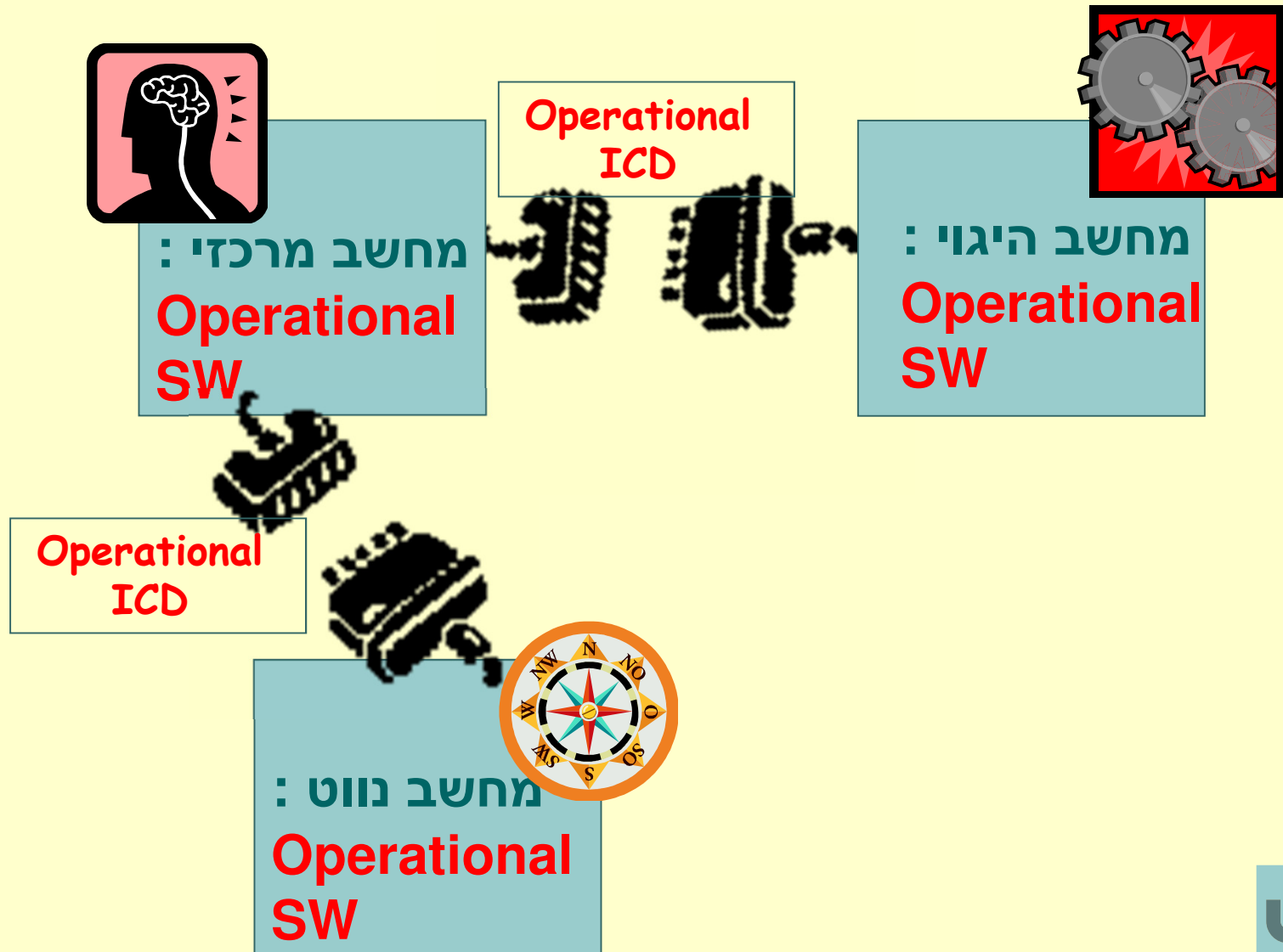


Radar  
Equations

Electro-  
Mechanics  
model

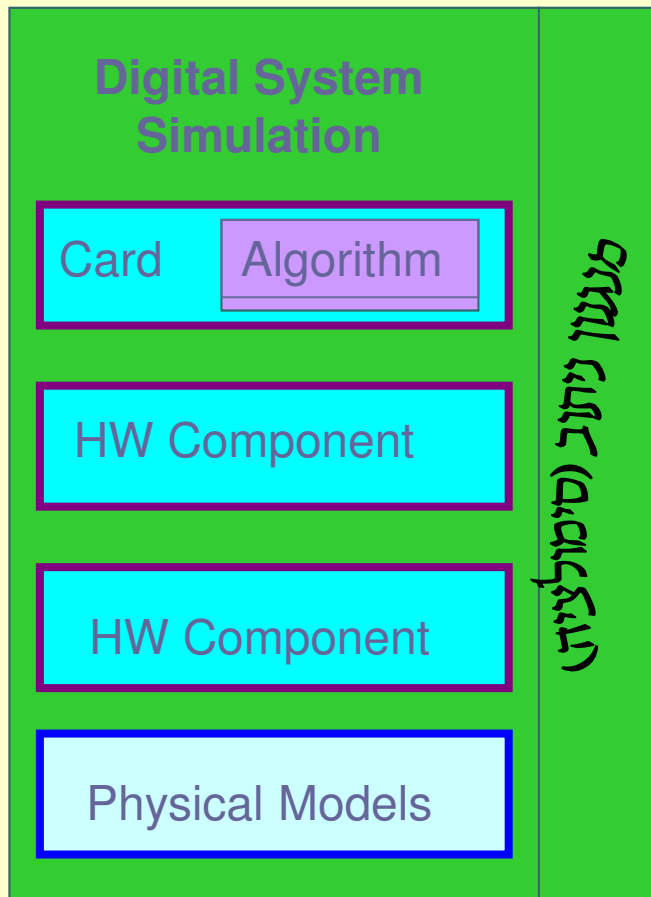


# קונספט המערכת הוירטואלית – תמיכה בתהליכים מערכתיים ובאינטגרציה





# שילוב סימולציה ספרתית בסימולטורים היברידיים



סימולציה מערכתית ספרתית  
Stand Alone

# שילוב סימולציה ספרתית בסימולטורים היברידיים

א. רמת אינטגרציה בסיסית

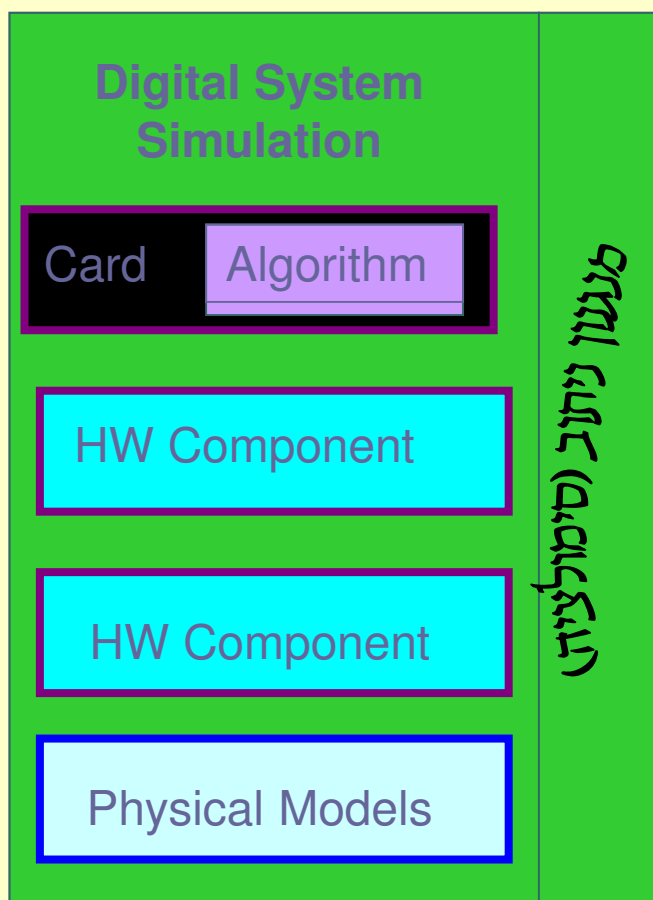
קרטיס והתוכנה שעליו

יוצאים מהארון" ומוחלפים בחומרה האמיתית"

לדוגמא מחשב מרכזי בטיל

הקישור נעשה ע"י מחשב הצב"ד

ש"מתרגם" את תפוקות הסימולציה (ממשק מבצעי ברמה ספרתית) לתקשורת אמיתיות (פיזיות)



# שילוב סימולציה ספרתית בסימולטורים היברידיים

ב.ב. קונפיגורציה מורחבת

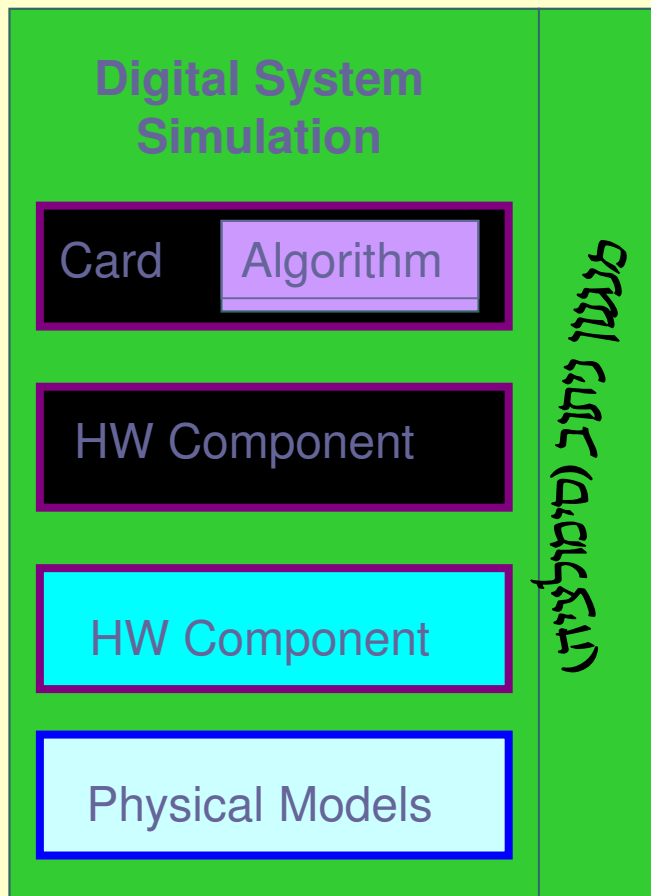
גם מכלול חומרה

יוצא מהארון" ומוחלף בחומרה האמיתית"

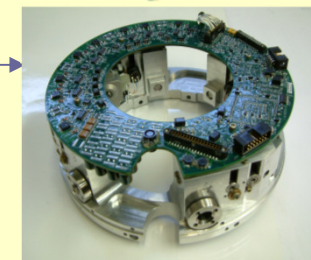
לדוגמא מכלול היגוי

הקישור נעשה ע"י מחשב הצב"ד

ש"מתרגם" את תפוקות הסימולציה (ממשק מבצעי ברמה (ספרתית) לתקשורות אמיתיות (פיזיות)



Integration computer (TE)



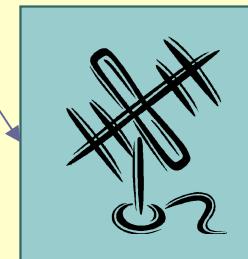
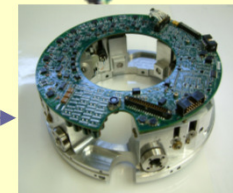
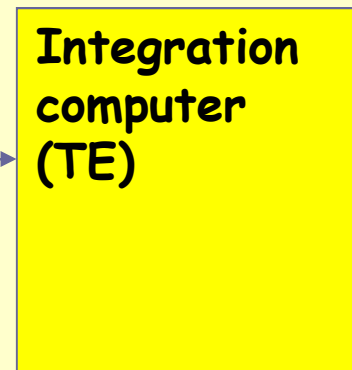
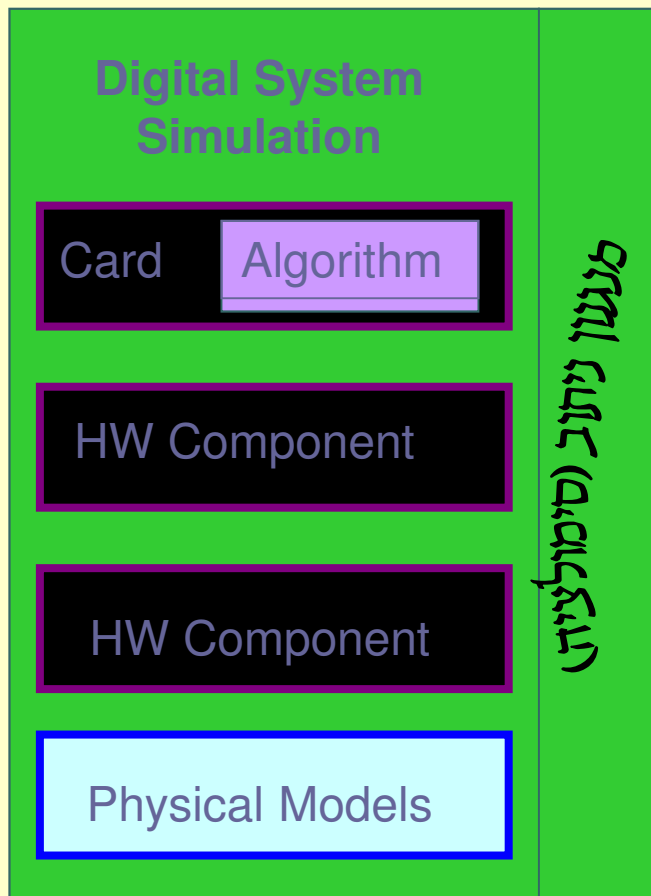
# שילוב סימולציה ספרתית בסימולטורים היברידיים

ג. קונפיגורציה מלאה

כל חומרת המערכת האפשרית

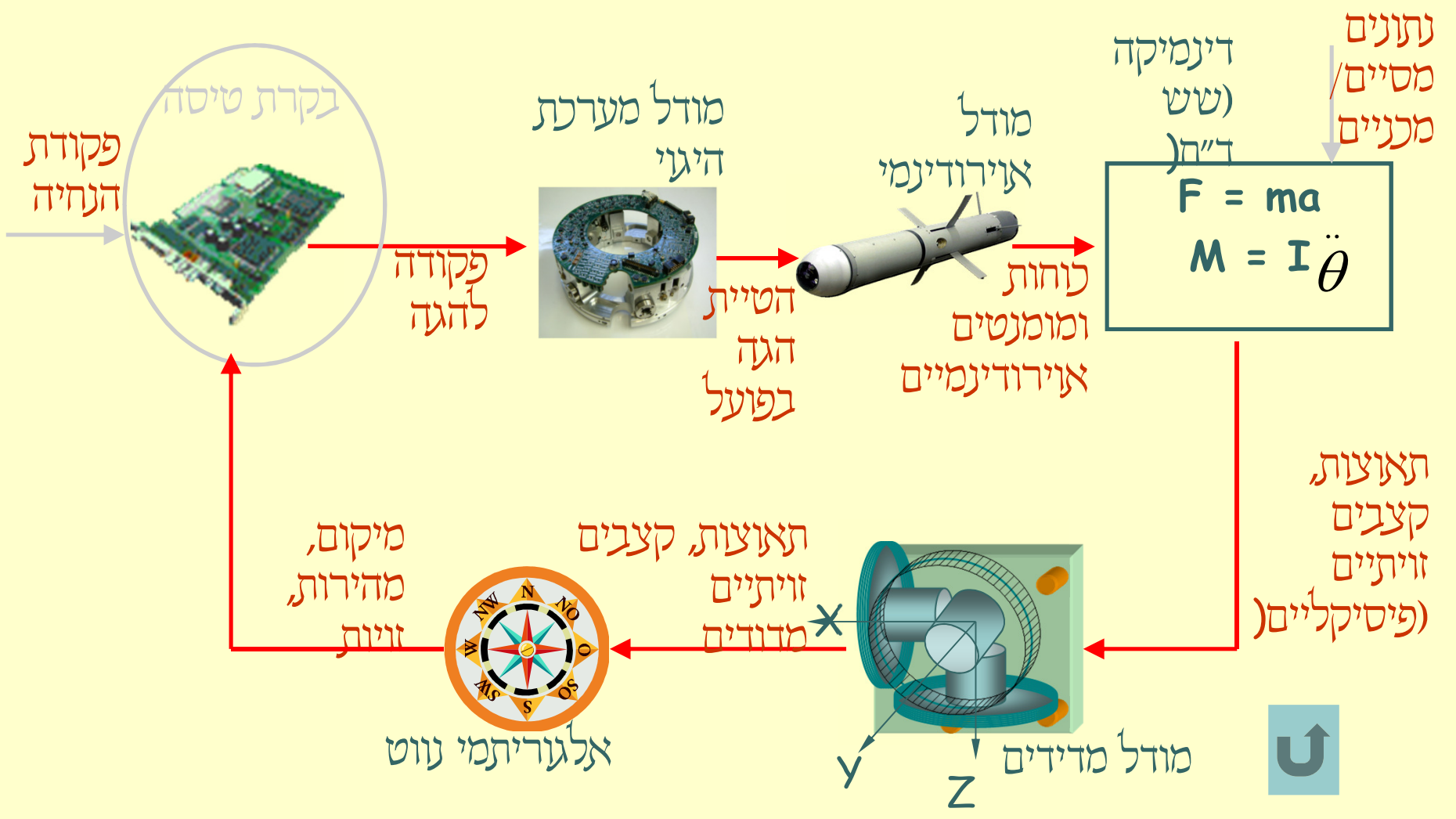
יוצאת מהארון" ומוחלפת בחומרה האמיתית"

האלמנטים היחידים שנשארים מדומים בסימולציה ספרתית הם המדידים, האוירודינמיקה, הדינמיקה, והמנוע של הטיל והדינמיקה של המשגר





# דוגמא - תכן בקרת טיסה (ט"א)



נתונים  
מסיים/  
מכניים

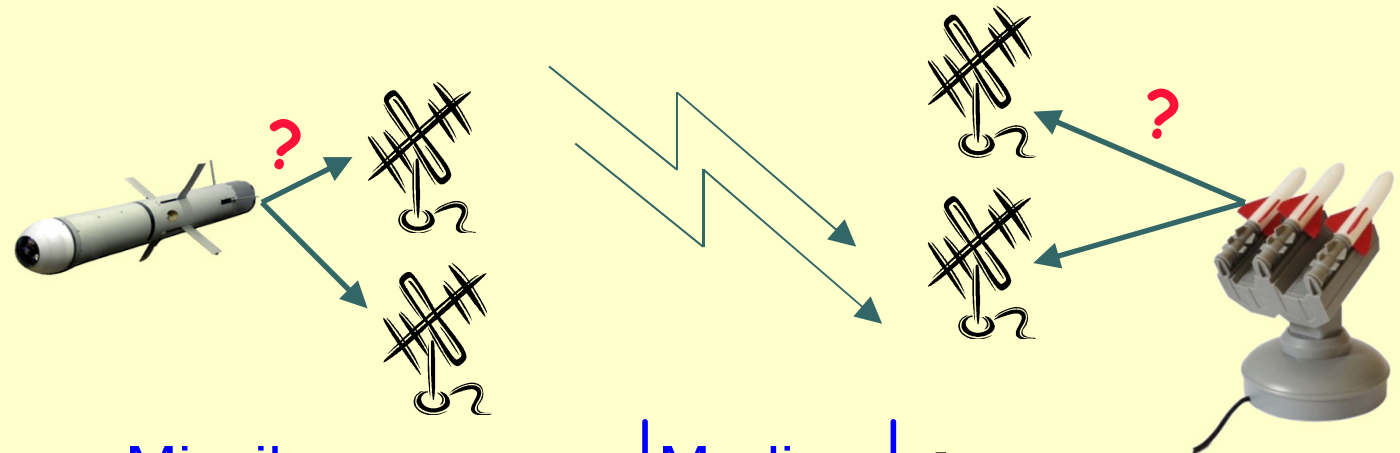
דינמיקה  
(שש  
ד"ח)

$$F = ma$$
$$M = I\ddot{\theta}$$

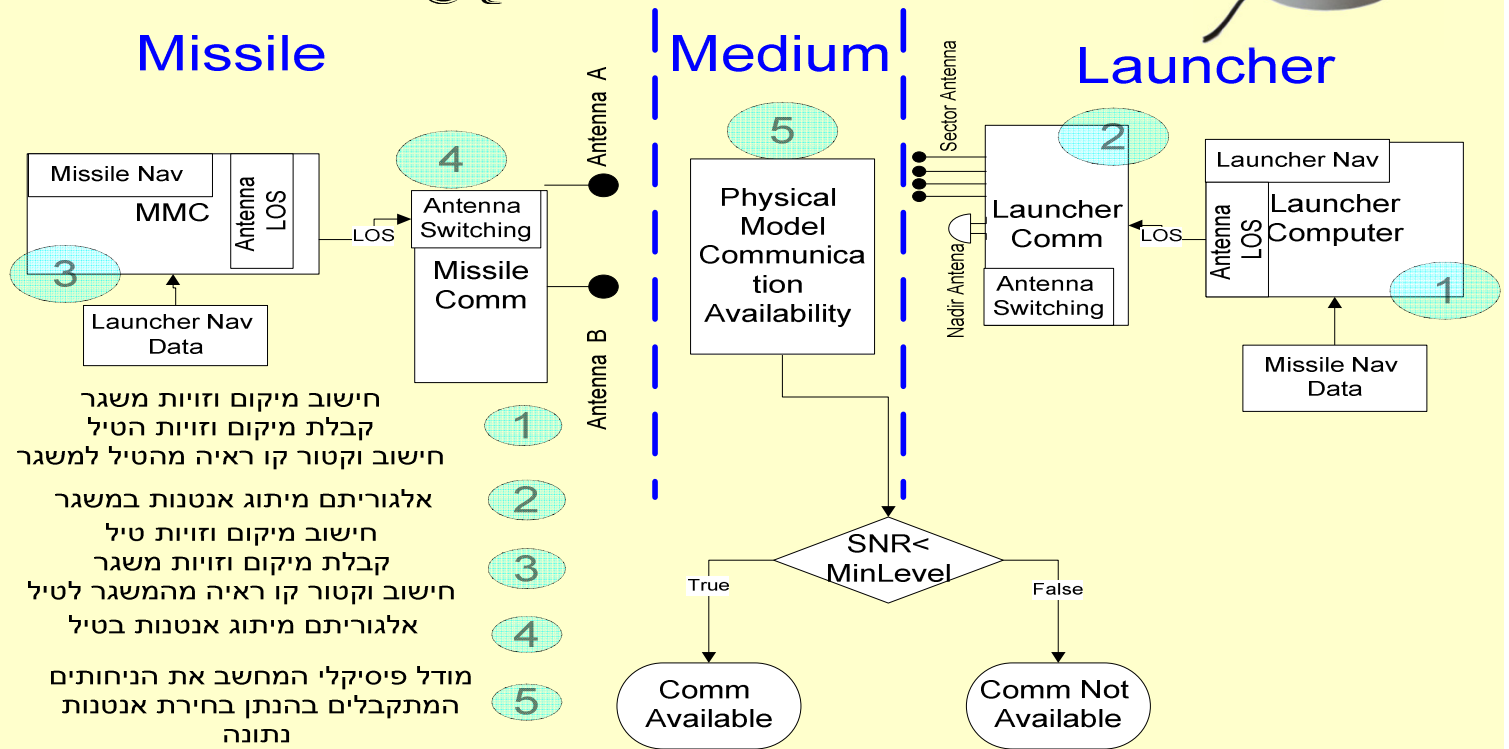
תאוצות,  
קצבים  
זוויתיים  
(פיסיקליים)



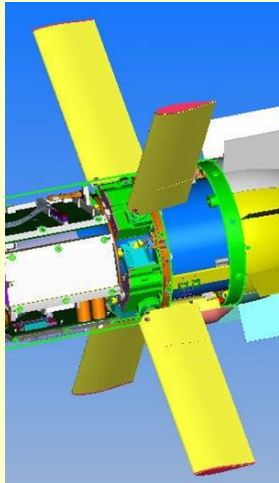
# תהליך מיתוג אנטנות-היבט תהליכי



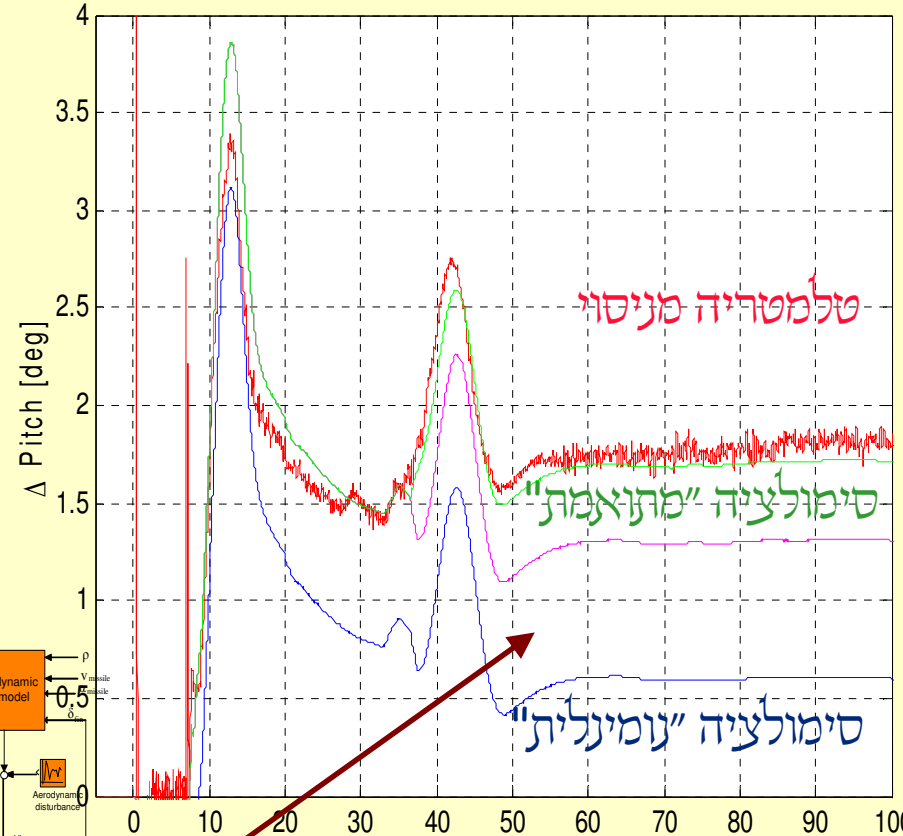
- בדיקת התהליך הלוגי
- בדיקת זרימת המידע בין תתי המערכות המשתתפות



# פענוח ניסויים ותיקוף מודלים



Delta Command



Red1\_m1

Homing\_Red 3\_9\_07\_11\_3

Red1\_m1\_nom

Red1\_m1

Fin Angle Bias

