

## מבוא לקורס מערכות בקרה 2

### 1. נושא הקורס והקשרו

קורס זה עוסק בתכנון של מערכות בקרה, ובפרט מערכות משוב. הקורס מהווה המשך ל"בקרה 1", וגם פה המיקוד הוא על מערכות לינאריות קבועות בזמן (לק"ב). אולם בקורס הנוכחי נתמקד בייצוג המערכת במרחב המצב, ובגישה מתמטית יותר לביצוע התכנון.

השיטות שאותן נסקור בקורס זה הן בעלות שלמות מתמטית, והן מהאלגנטיות ביותר בכל תחומי ההנדסה. כלים אלה התפתחו בעיקר במהלך שנות ה-60 של המאה ה-20.

ניתן להבחין בהתפתחות הבאה בתורת הבקרה הלינארית:

א. **בקרה קלאסית** – עד שנות ה-60 (של המאה ה-20).

- שימוש בפונקציות תמסורת (התמרת לפלס) ותגובת התדר.
- כלים עיקריים: דיאגרמת בודה, נייקויסט, ניקולס, Root-Locus.
- גישה היוריסטית לביצוע התכנון.

ב. **בקרה "מודרנית" במרחב המצב** – שנות ה-60 והלאה.

- תכנון במרחב המצב.
- גישה מתמטית יותר.
- אופטימיזציה של קריטריוני בצועים (בקרה אופטימלית).

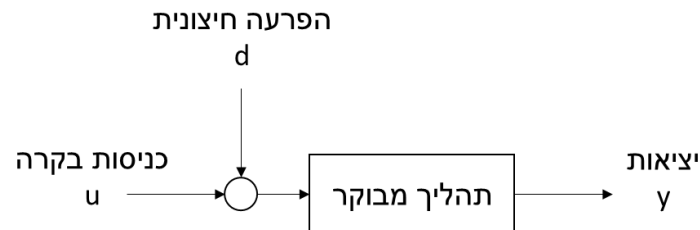
ג. **בקרה "מודרנית" במישור התדר** – שנות ה-80 והלאה.

- חזרה לפונקציות תמסורת ותגובת תדר.
- גישה מתמטית, אופטימיזציה של קריטריוני ביצועים.
- דגש על אי-ודאות במודל: בקרה רובסטית.

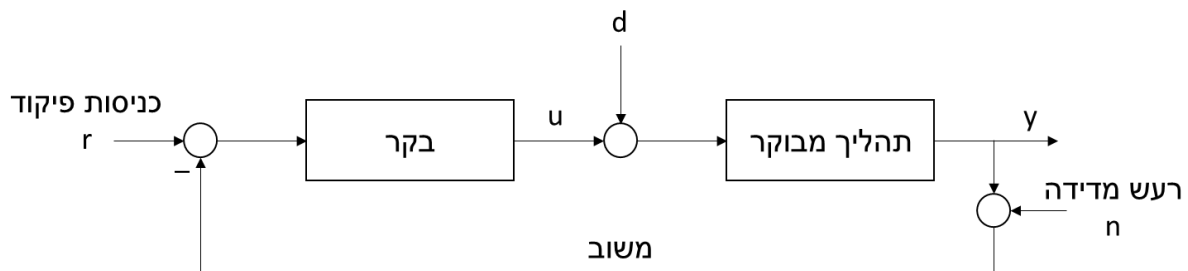
מאפיין חשוב של השיטות ה"מודרניות" הוא ישימותן למערכות מרובות כניסות ומרובות יציאות (MIMO). אולם בקורס זה לא נדגיש היבט זה, וזאת לצורך פשטות ההצגה.

**2. בעיית הבקרה - תזכורת**

תורת הבקרה עוסקת בבעיה ההנדסית הבאה. נתון "תהליך" (plant, process), שהוא מערכת פיזיקלית שיש לבקר על מצבה ויציאותיה באמצעות כניסות בקרה:



מערכת הבקרה הבסיסית הינה מערכת משוב בצורה הבאה:



תהליך התכן ניתן לתיאור סכמטי כלהלן:

1. דרישות ביצועים: הגדרת הביצועים הנדרשים מהמערכת הכוללת.
2. בחירת מרכיבי המערכת: מפעילים (actuators) מדידים, מבנה הבקר...
3. מידול: מציאת מודל מתמטי למערכת (תוך שימוש בעקרונות פיסיקליים ו/או מדידות).
4. תכן מתמטי: תכן הבקר לעמידה בדרישות.
5. בדיקת וכיוונון התכן: בעזרת כלי סימולציה ובניית דגם ניסויי.
6. מימוש: בניית המערכת והבקר, ובדיקת ביצועים.

בקורס זה אנו מתמקדים בשלב 4: התכן המתמטי של הבקר. לכן נדרשת כמובן הבנה יסודית של בעיית הבקרה.

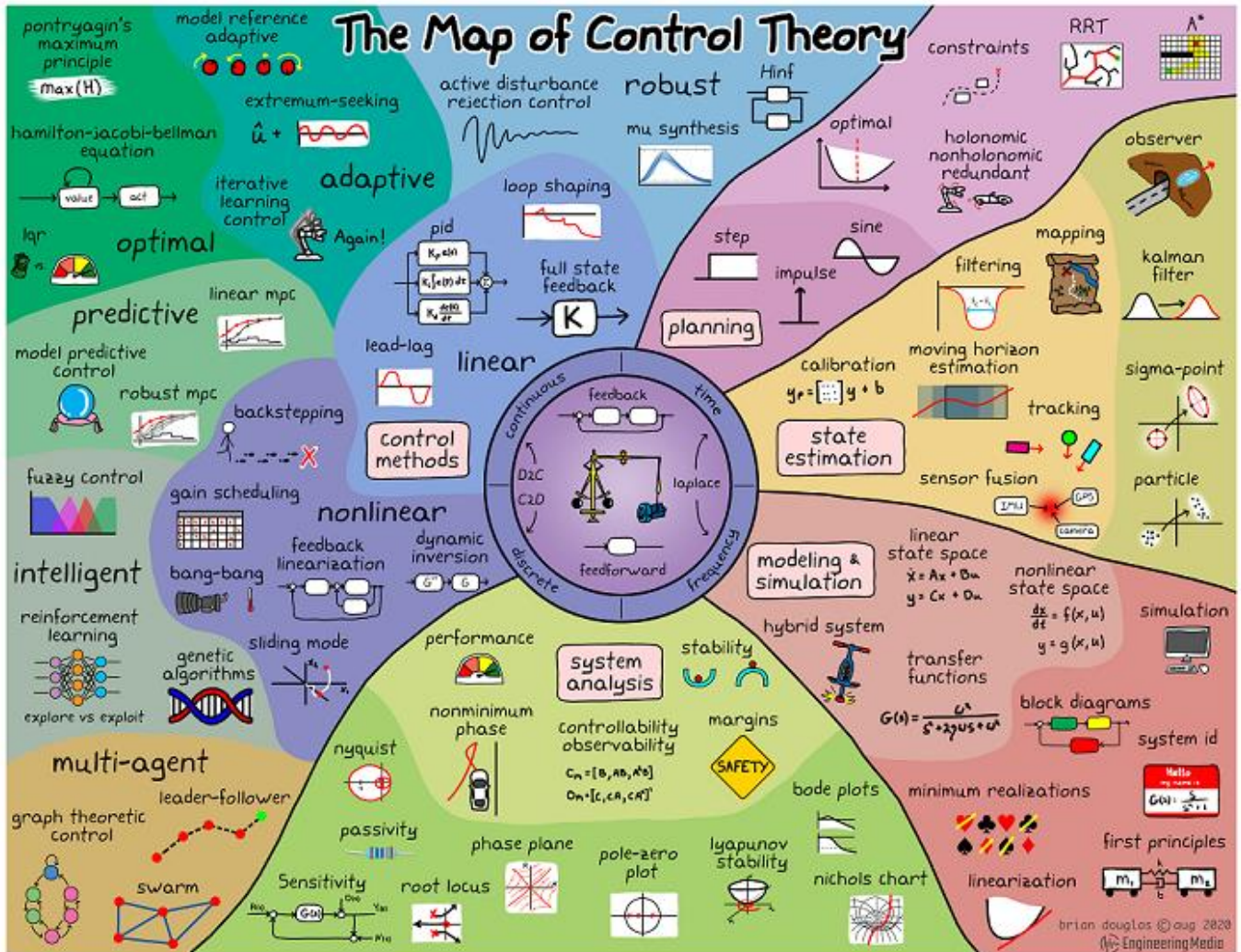
דרישות הביצועים העיקריות במערכות בקרה נוגעות בנושאים הבאים :

1. עקיבה : עקיבה טובה של היציאה  $y$  אחר אות הייחוס (פקודה)  $r$ .
2. עמידות להפרעות : רגישות נמוכה של היציאה להפרעות חיצוניות  $d$ .
3. עמידות לרעשים : רגישות נמוכה לרעשי מדידה באות המשוב.
4. הגבלת מאמץ הבקרה : כניסת בקרה  $u$  קטנה ככל האפשר (ובמסגרת המגבלות הפיסיקליות).
5. רובוסטיות : רגישות נמוכה לשינויים ואי ודאות במודל התהליך.

דרישות אלו עשויות להיות מנוגדות זו לזו, ומצריכות לפיכך ביצוע "פשרה הנדסית" בביצוע התכן.

### 3. מפת תחום הבקרה

תחום הבקרה הוא רחב ביותר וממשיך להתפתח גם כיום. הציור הבא מציג מיפוי גרפי ממצה של השיטות והנושאים השונים הכלולים בתחום. הקורס הנוכחי (והקודם לו) נוגעים כמובן רק בחלק קטן ממגוון זה, אולם מהווים בסיס חיוני להבנת התחום בכללו.



מקור : <https://engineeringmedia.com>