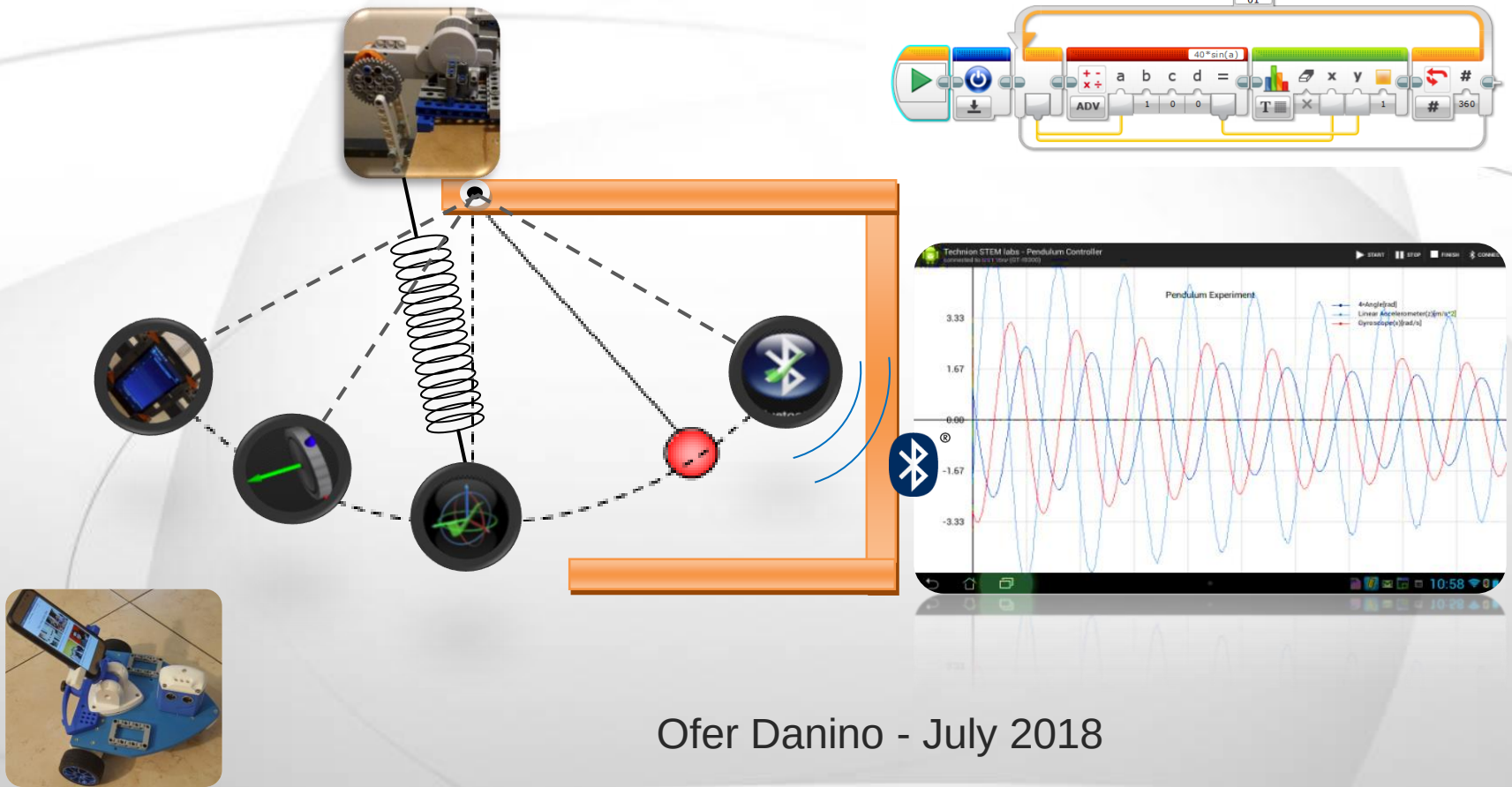


Robophone & Robophysics



Ofer Danino - July 2018

מבוא - מטרות תוכנית רובופיסיקה

להעשיר את התלמידים ולנטוע בהם מוטיבציה הנובעת מעניין והנאה, תוך שילוב יצירתי בין הדיסציפלינות: פיסיקה, מתמטיקה ומקצועות ההנדסה.

רובופיסיקה



thinking



- ✓ חינוך לאחריות ולמנהיגות מדעית הנדסית
- ✓ חוויה מכוונת ותפיסה אינטר דיסציפלינארית
- ✓ פיתוח חשיבה מערכתית ואסטרטגית
- ✓ מוטיבציה פנימית כמנוע מוביל
- ✓ עבודת צוות עם סינרגיה והפריה הדדית
- ✓ שימוש בסקרנות הטבעית לחקר תופעות
- ✓ אוריינות טקסונומית ברמת יישום, אנליזה וסינתזה
- ✓ מדע וטכנולוגיה לטובת איכות החיים והסביבה

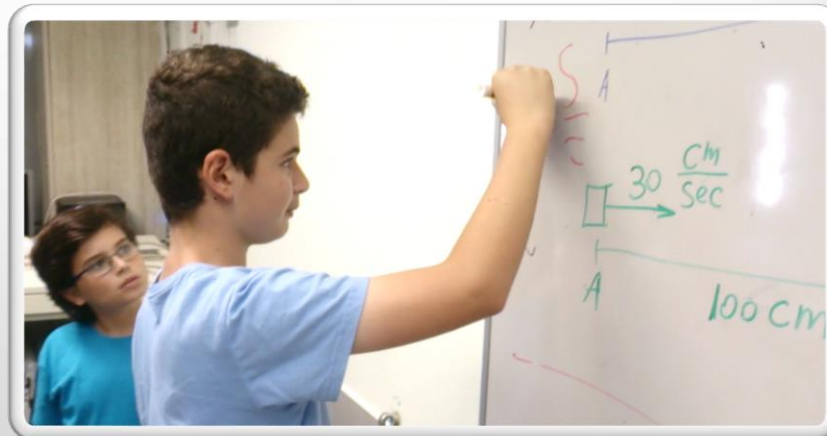
כיתה ו' בנופים בתוכנית רובופיסיקה

- תכנית סדורה של לימוד דרך פרויקטים כצוות משולב המבצע משימות עם רובוטים ועם הרבה חדוות יצירה.
- שילוב פיסיקה, מתמטיקה, המותאמת לילדים ביסודי.
- שילוב בנות מגיל צעיר כך שעבודה הנדסית תראה כדבר טבעי.

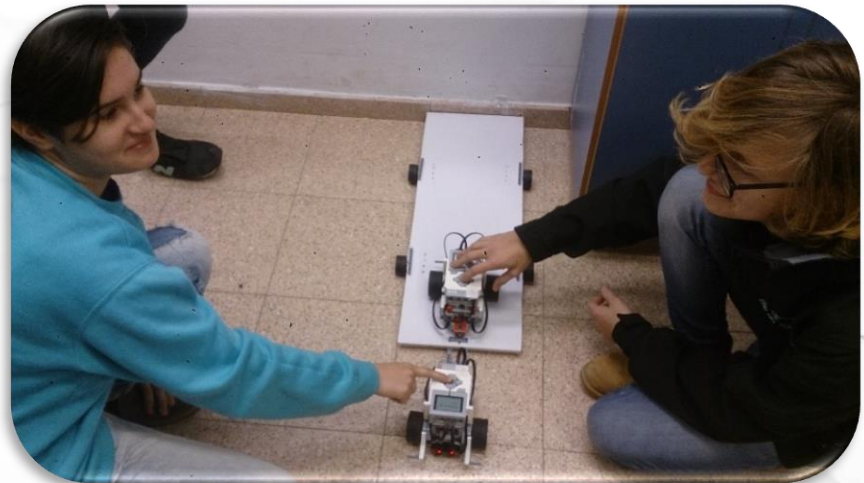
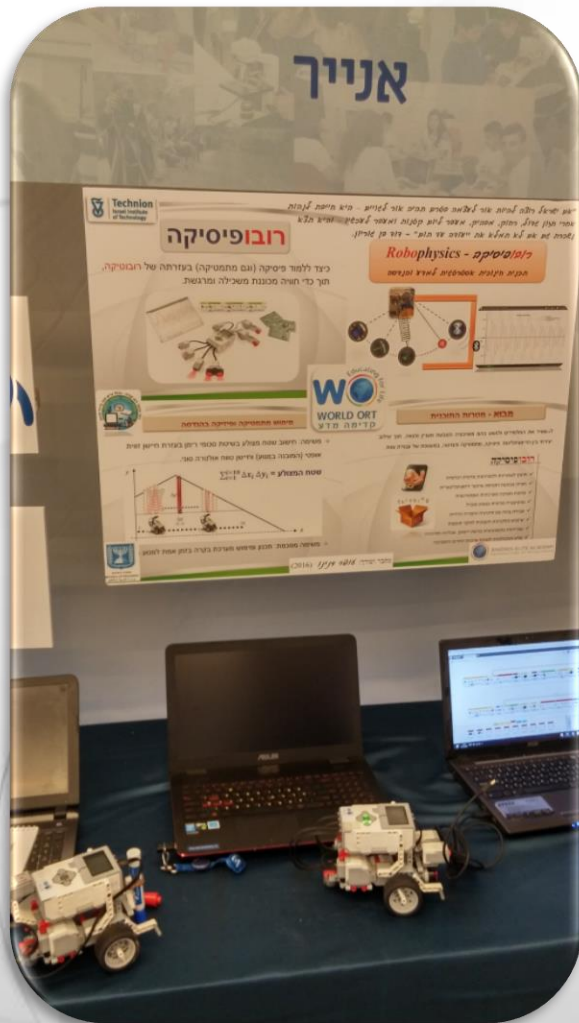


חט"ב הנגיד בתוכנית רובופיסיקה

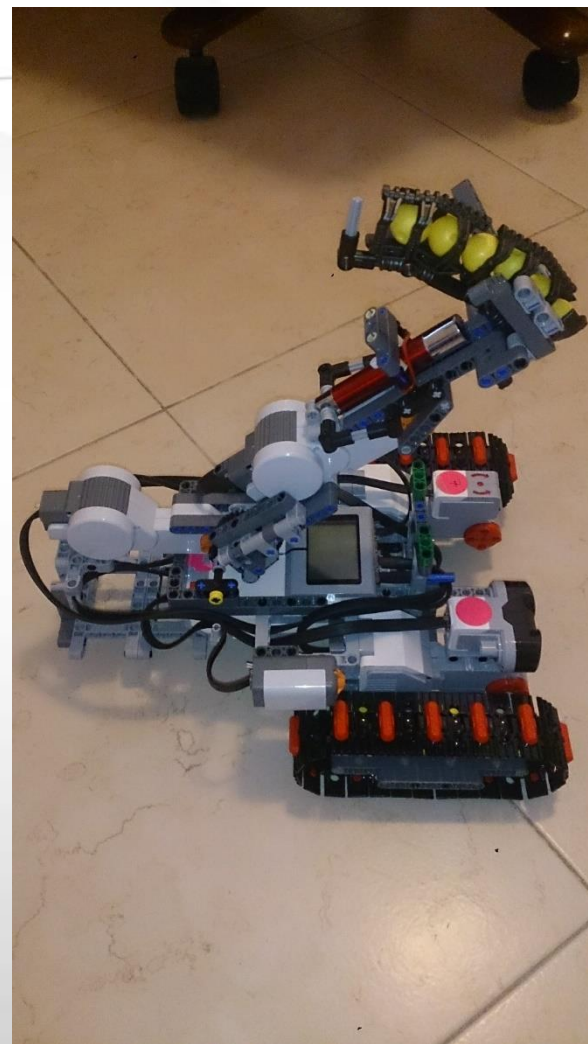
- ✚ **ראש קבוצה** - אחראי על הובלה וניהול הפרויקט בראיה מערכתית (ב- Top Down),
כך שמטרת הפרויקט תבוצע באופן הטוב ביותר תחת מגבלות משאבי הפרויקט.
- ✚ **מהנדס תוכנה** - אחראי על בניית התוכנה באופן היעיל ביותר, הן ברמת האלגוריתם
ב- Top Down והן בכתיבת הפרוצדורות ב- Bottom Up.
- ✚ **מדען** - אחראי על ניתוח החוקים הפיסיקליים "המשחקים תפקיד" בביצוע מטרת
הפרויקט מבחינה תיאורטית ויישומית, וזאת ע"י הגדרת ניסויים.
- ✚ **מהנדס מכונות** - אחראי על הבניה הפיזית של הרובוט באופן היעיל ביותר. הוא
נדרש להגדיר את הבניה בצורה מודולארית על מנת להיות גמיש לשינויים.



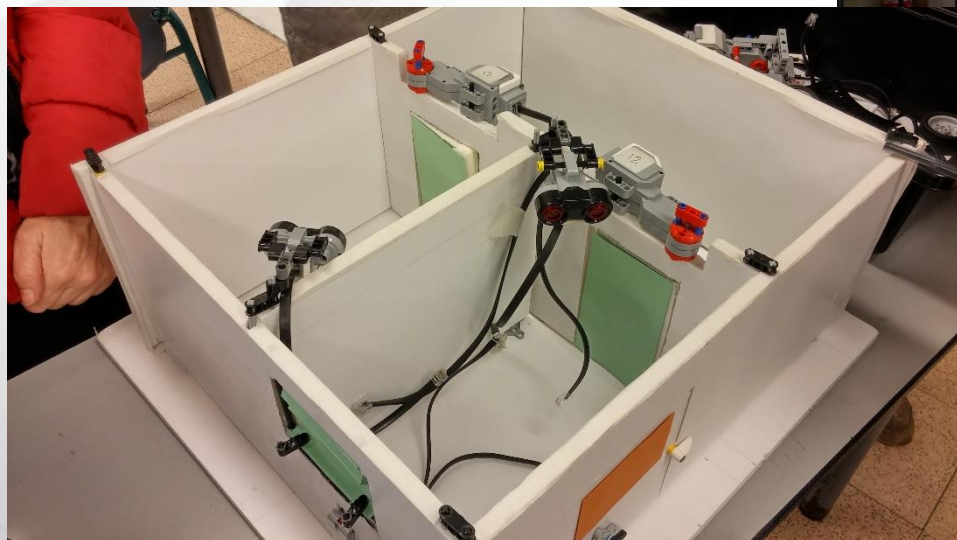
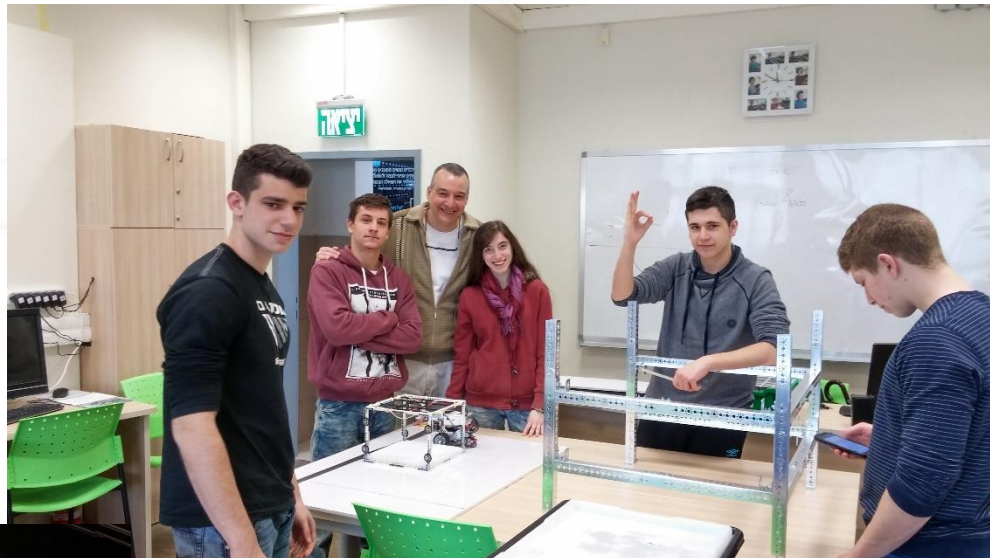
פרויקט אנייר בתוכנית רובופיסיקה



ניצני הטכניון בתוכנית רובופיסיקה



אורט ביאליק בתוכנית רובופיסיקה



Andrew and Ema Viterbi
Faculty of Electrical Engineering
••••• Electronics
••••• Computers
••••• Communications

SIPL
Signal and Image Processing Lab

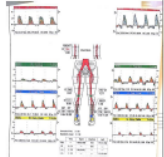
TECHNION
Israel Institute of Technology

Peripheral Vascular Disease - Walking Pattern Recognition

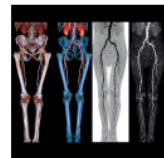
Szttylglic Ori and Septon Shay, Supervised by Danino Ofer

Introduction

- PVD is a common vascular disease in Western society. Treatment of the disease ranges from non-invasive treatments such as taking drugs to very invasive treatments such as full anesthesia surgery. Diagnosis of the disease is not a simple matter, since, various tests, specialist analysis and sometimes hospitalization are required.
- Doppler Ultrasound Test



CT Angiography



Fridman Erez and Porat Idan app

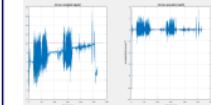


Project Goals

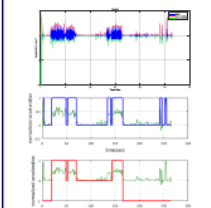
- PVD screening automation labeling using computational learning

Pre-processing walk and stop separation

- wavelet transform the signal and then thresholding



- Extract signal envelope, remove small connected components and then filter



Pre-processing transforms and data organizing

- FFT DCT and LPC (10)

$$j(k) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \frac{1}{1 + \frac{j}{k}} \cos\left(\frac{j}{k} (2n-1)(k-1)\right)$$

$$\hat{x}(n) = \sum_{k=1}^K \hat{x}(n) \cos\left(\frac{j}{k} (2n-1)(k-1)\right)$$

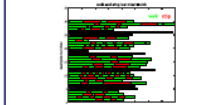
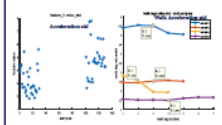
Translational struct

Feature	Value
Feature 1	0.0000
Feature 2	0.0000
Feature 3	0.0000
Feature 4	0.0000
Feature 5	0.0000
Feature 6	0.0000
Feature 7	0.0000
Feature 8	0.0000
Feature 9	0.0000
Feature 10	0.0000
Feature 11	0.0000
Feature 12	0.0000
Feature 13	0.0000
Feature 14	0.0000
Feature 15	0.0000
Feature 16	0.0000
Feature 17	0.0000
Feature 18	0.0000
Feature 19	0.0000
Feature 20	0.0000
Feature 21	0.0000
Feature 22	0.0000
Feature 23	0.0000
Feature 24	0.0000
Feature 25	0.0000
Feature 26	0.0000
Feature 27	0.0000
Feature 28	0.0000
Feature 29	0.0000
Feature 30	0.0000
Feature 31	0.0000
Feature 32	0.0000
Feature 33	0.0000
Feature 34	0.0000
Feature 35	0.0000
Feature 36	0.0000
Feature 37	0.0000
Feature 38	0.0000
Feature 39	0.0000
Feature 40	0.0000
Feature 41	0.0000
Feature 42	0.0000
Feature 43	0.0000
Feature 44	0.0000
Feature 45	0.0000
Feature 46	0.0000
Feature 47	0.0000
Feature 48	0.0000
Feature 49	0.0000
Feature 50	0.0000
Feature 51	0.0000
Feature 52	0.0000
Feature 53	0.0000
Feature 54	0.0000
Feature 55	0.0000
Feature 56	0.0000
Feature 57	0.0000
Feature 58	0.0000
Feature 59	0.0000
Feature 60	0.0000
Feature 61	0.0000
Feature 62	0.0000
Feature 63	0.0000
Feature 64	0.0000
Feature 65	0.0000
Feature 66	0.0000
Feature 67	0.0000
Feature 68	0.0000
Feature 69	0.0000
Feature 70	0.0000
Feature 71	0.0000
Feature 72	0.0000
Feature 73	0.0000
Feature 74	0.0000
Feature 75	0.0000
Feature 76	0.0000
Feature 77	0.0000
Feature 78	0.0000
Feature 79	0.0000
Feature 80	0.0000
Feature 81	0.0000
Feature 82	0.0000
Feature 83	0.0000
Feature 84	0.0000
Feature 85	0.0000
Feature 86	0.0000
Feature 87	0.0000
Feature 88	0.0000
Feature 89	0.0000
Feature 90	0.0000
Feature 91	0.0000
Feature 92	0.0000
Feature 93	0.0000
Feature 94	0.0000
Feature 95	0.0000
Feature 96	0.0000
Feature 97	0.0000
Feature 98	0.0000
Feature 99	0.0000
Feature 100	0.0000

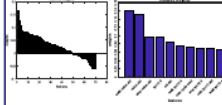
Feature struct

Feature	Value
Feature 1	0.0000
Feature 2	0.0000
Feature 3	0.0000
Feature 4	0.0000
Feature 5	0.0000
Feature 6	0.0000
Feature 7	0.0000
Feature 8	0.0000
Feature 9	0.0000
Feature 10	0.0000
Feature 11	0.0000
Feature 12	0.0000
Feature 13	0.0000
Feature 14	0.0000
Feature 15	0.0000
Feature 16	0.0000
Feature 17	0.0000
Feature 18	0.0000
Feature 19	0.0000
Feature 20	0.0000
Feature 21	0.0000
Feature 22	0.0000
Feature 23	0.0000
Feature 24	0.0000
Feature 25	0.0000
Feature 26	0.0000
Feature 27	0.0000
Feature 28	0.0000
Feature 29	0.0000
Feature 30	0.0000
Feature 31	0.0000
Feature 32	0.0000
Feature 33	0.0000
Feature 34	0.0000
Feature 35	0.0000
Feature 36	0.0000
Feature 37	0.0000
Feature 38	0.0000
Feature 39	0.0000
Feature 40	0.0000
Feature 41	0.0000
Feature 42	0.0000
Feature 43	0.0000
Feature 44	0.0000
Feature 45	0.0000
Feature 46	0.0000
Feature 47	0.0000
Feature 48	0.0000
Feature 49	0.0000
Feature 50	0.0000
Feature 51	0.0000
Feature 52	0.0000
Feature 53	0.0000
Feature 54	0.0000
Feature 55	0.0000
Feature 56	0.0000
Feature 57	0.0000
Feature 58	0.0000
Feature 59	0.0000
Feature 60	0.0000
Feature 61	0.0000
Feature 62	0.0000
Feature 63	0.0000
Feature 64	0.0000
Feature 65	0.0000
Feature 66	0.0000
Feature 67	0.0000
Feature 68	0.0000
Feature 69	0.0000
Feature 70	0.0000
Feature 71	0.0000
Feature 72	0.0000
Feature 73	0.0000
Feature 74	0.0000
Feature 75	0.0000
Feature 76	0.0000
Feature 77	0.0000
Feature 78	0.0000
Feature 79	0.0000
Feature 80	0.0000
Feature 81	0.0000
Feature 82	0.0000
Feature 83	0.0000
Feature 84	0.0000
Feature 85	0.0000
Feature 86	0.0000
Feature 87	0.0000
Feature 88	0.0000
Feature 89	0.0000
Feature 90	0.0000
Feature 91	0.0000
Feature 92	0.0000
Feature 93	0.0000
Feature 94	0.0000
Feature 95	0.0000
Feature 96	0.0000
Feature 97	0.0000
Feature 98	0.0000
Feature 99	0.0000
Feature 100	0.0000

Feature Extraction



- Feature weights using KNN, K=8



Decision Tree Model

$$Q(S) = \sum_i \beta_i (1 - \beta_i)$$

$$Q(S|t_k, t_l) = Q(S) - Q(S|A)$$

$$\Delta Q(S|t_k, t_l) = \max_{\Delta Q(S|t_k, t_l)}$$



Results

- Robust "leg-stop" separation.
- 95% success labeling sick and healthy samples
- Feature "meaning" for future work.
- Fast and efficient labeling model.

Conclusions

- Computational learning as a result for this problem.
- There is a need for a bigger data base to verify the solution and improve it, i.e. adding "sickness severity" classes and other disease classes.

In collaboration with Prof. Hoffman Aharon

December 2017

Andrew and Ema Viterbi
Faculty of Electrical Engineering
••••• Electronics
••••• Computers
••••• Communications

CRM

Control Robotics and Machine Learning Laboratory

TECHNION
Israel Institute of Technology

Integration of Smartphone in Educational Robot

Ofek Sivan, Supervised by Ofer Danino

Introduction

- There is a growing need to teach the next generation of engineers complex concepts via hands-on experiences.
- LEGO Mindstorms EV3 is a low-cost robotic kit that can be simply programmed to perform various tasks using sensors and motors.



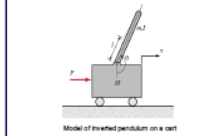
The Problem

- Even though the EV3 platform is a powerful educational tool, it has limited sensing abilities.
- The EV3 platform doesn't support implementation of complex control systems as needed by engineering students or academic teaching laboratories.

Goal

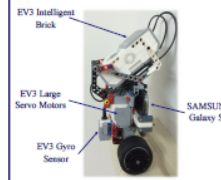
- Use the smartphone's sensors to improve the robot sensing abilities.
- Keep the programming process simple: data from the smartphone will be accessible just like any other EV3 sensor.
- Solve the Inverted Pendulum problem as an example of implementing complex control system.

Inverted Pendulum



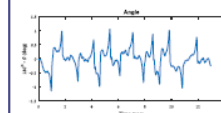
- Stabilizing a pendulum with its center of mass above the pivot point is a classic problem in control theory.
- The pendulum is inherently unstable around $\theta = 180^\circ$. The controller measures θ and applies the adequate force F on the cart to maintain θ as close to 180° as possible.

The Physical System



Robot built to demonstrate control of inverted pendulum

- Model the system as a "pole and a cart" and develop the state space equations.
- Use the EV3 Gyro sensor to measure the angle θ and use the optical encoders of the motors to measure the cart position x .
- Design and tune the simplest controller (PID) to stabilize the robot vertically (small oscillations around the desired angle).



- The controller is implemented in the Mindstorms environment - ideal for high-school students: familiar and easy to program.
- It is straight forward to replace the EV3 gyro sensor with data from a smartphone's gyro.

Smartphone Integration

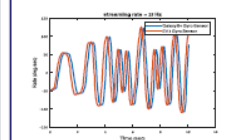
- Mindstorms environment supports communication between different EV3 bricks via Bluetooth.
- "Mobile Personal Laboratory EV3" is an Android Application developed as a part of another students project in CRM.
- Using the app it's simple to acquire measurements from various sensors and stream them to the EV3 brick, as if the smartphone is an EV3 brick itself.



Streaming data from smartphone sensors to the EV3 brick via Bluetooth

Propagation Delay

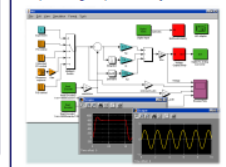
- Both sensors deliver the same values but the data from the smartphone has a propagation delay of ~100 ms compared to the EV3 Gyro.



- Such a delay in measurements prevents the controller from stabilizing the robot.
- An optional solution is to use "Smith predictor" to overcome the delay. Requires calculations in the frequency domain. Unsupported by the Mindstorms environment.

EV3 & Simulink

- Simulink (by MATLAB) provides powerful environment for designing, simulating and implementing complex control systems.



Real-time data acquisition of complex control system using Simulink

- Simulink includes new capability to program low-cost hardware such as the LEGO EV3.
- Engineering students and academic teaching laboratories might find Simulink much preferable over the Mindstorms environment.

Conclusions

- Smartphone integrates well with the EV3 system, increasing sensing abilities and improving it as an educational platform for high school students.
- The Mindstorms environment provides simple programming and communicating tools, yet doesn't fully satisfy the needs of academic users.
- Further research is needed to determine whether Simulink designed controllers are capable of implementing high precision control systems and overcoming delays.

July 2017

ממצאים – עמדות התלמידים כלפי התוכנית

דוגמת טבלה של עמדות התלמידים כלפי התוכנית (מתוך המחקר האקדמי המלווה)

מרכיב	תת קטגוריה	דוגמאות לציטוטים מתוך השאלונים הפתוחים והראיונות	פרשנות
רגשי	עניין והנאה	"זו חוויה שמרחיבה את האופקים, מאד מעניין ומקרב אותנו יותר לנושא המדעים. זה גם מראה את הצד האחר של הפיסיקה"	הקורס מעניין ברמת חוויה
	שיפור ביטחון עצמי	"הצטרפנו לתכנת תוכנה שתגרום לרובוט לנוע בתנועה סינוסית, אחרי שהבנו את הנוסחה, זה גרם לי להרגיש שאני סטודנטית"	חיזוק לביטחון העצמי
	שייכות	"העבודה בקבוצות עוזרת לנו לעשות את העבודה שלנו על הצד הטוב ביותר"	הקבוצה יוצרת תחושת שייכות
הכרתי קוגניטיבי	רכישת ידע חדש	"למדתי דברים חדשים ומעניינים מעבר לחומר שאני לומדת בביה"ס, לעצב תוכנה מתאימה כמו האינטגרל, הרגשתי שהמתמטיקה מדברת"	ידע חדש כעיבוי לקיים
	קידום לעתיד	"הקורס הזה מדהים, עזר לי הרבה והעשיר אותי וגם הכין אותי לאווירת הקמפוס והיה לי כיף להשתתף בו"	הכרה בערך תרומת הקורס
	רכישת יכולת שילוב	"הכי טוב בקורס זה השילוב עם המתמטיקה והנושאים המעניינים והמחשתם דרך חשיבה יצירתית ושונה"	שילוב תיאוריה והמחשה
התנהגותי	גילוי התלהבות	"חוויה מדהימה !!! אפשר להגיד רק מילה אחת על כול הסיפור תודה ! הייתי מבקשת להרחיב במתמטיקה, ובנושאי רובופיסיקה, הייתי רוצה להוריד את התוכנה ולעבוד גם בבית"	התלהבות ניכרת והכרת תודה מוחשית
	המחשה פעלתנות	"הטוב ביותר בקורס היה, בהמחשה שבהנדסה - לא כול הנראה הגיוני בתיאוריה, עובד באמת במציאות"	פעילות – מודל להמחשה.

פרס – המאמר הטוב ביותר



Technical
University of
Denmark



European Association for Education in Electrical and Information Engineering

Best Paper Award Certificate

for the paper

**Enhancing motivation towards science and engineering among
high-school students: A course on engineering design**

authored by

Aharon Gero and Ofer Danino

presented at

**The 26th EAAEIE Annual Conference, 1-2 of July 2015
DTU Diplom, Campus Ballerup, Denmark**

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to Anna Friesel.

Anna Friesel

President of EAAEIE and EAAEIE'2015 General Chair

מבוא - רקע לטופולוגית רובופון ©

מרכז חינוכי הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה



רובופיסיקה - Robophysics

מתודת המותאמת למאה ה-21 למידה STEM

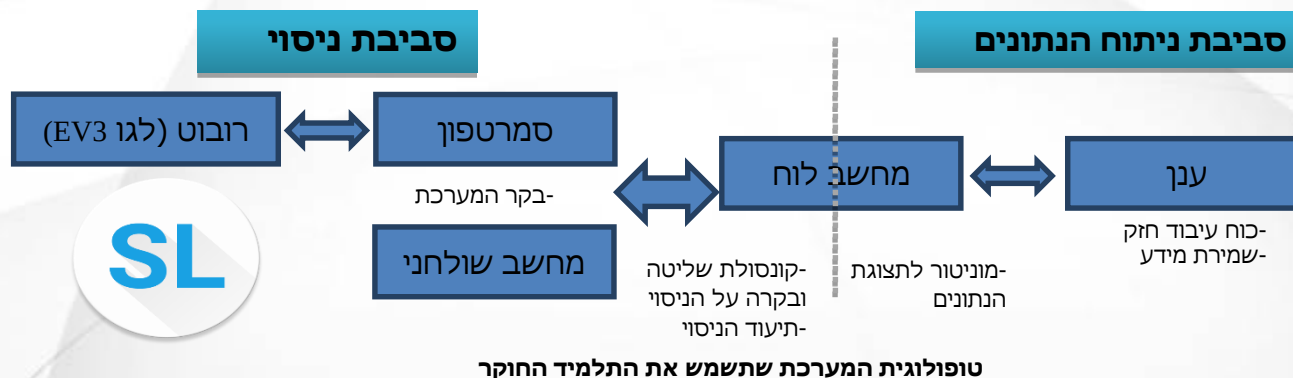
לפני נוצר באופן בינתחומי באמצעים למינס כחוויה מכוונת לפיתוח מיומנויות חשיבה מערכתית ומוטיבציה פנימית. רובופיסיקה פעילה מזה כ-5 שנים כתוכנית אקדמית במסגרת הפקולטה לחינוך ובחסות הפקולטה להנדסת חשמל בטכניון.

רובופון © הינו פיתוח תוכנה וחומרה, הנותן מענה המותאם לצרכי החינוך המדעי הנדסי במאה ה-21, ומהווה חוליה חשובה במתודת **רובופיסיקה ©**, המאפשרת לימוד פיסיקה מתמטיקה ומקצועות ההנדסה (STEM) באופן בינתחומי בעבור בני נוער באמצעים זמינים, כחוויה מכוונת לפיתוח מיומנויות חשיבה מערכתית ומוטיבציה פנימית. רובופיסיקה פעילה מזה כ-5 שנים כתוכנית אקדמית במסגרת הפקולטה לחינוך ובחסות הפקולטה להנדסת חשמל בטכניון.

התוכנית מופעלת בהצלחה מרובה במספר מוסדות חינוך, הן בחט"ב כדוגמת: התוכנית הלאומית למצוינות מדעית – "מתמטיקה תחילה", הן בחט"ע כדוגמת: תוכנית הנשיא לניצני הטכניון, פרויקט אנייר בנהלל, וב-5 פקולטות בטכניון: חשמל, מכונות, מדעי המחשב, פיזיקה, וכמובן חינוך.

רובופון – טופולוגיית המערכת

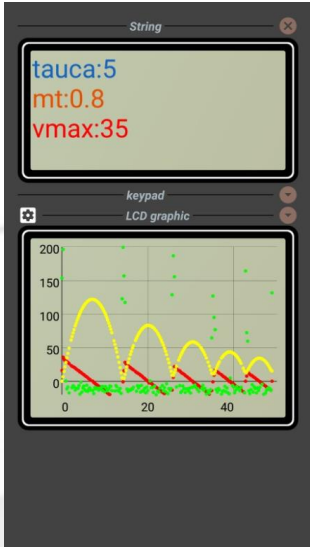
רובופון הינה מערכת המשלבת מספר טכנולוגיות קיימות הזמינות לתלמידים בבתי הספר: ערכה רובוטית (עכשווית לגו EV3), סמרטפון (כרגע מסוג אנדרואיד בלבד), מחשב שולחני ו/או טאבלט - מחשב לוח, וענן. טופולוגיית המערכת מודגמת בסכמת הבלוקים הבאה:



תוצרי המערכת של רובופון

1	תוכנה המותקנת חד פעמית במחשב ובסמרטפון ההופך את הסמרטפון לחלק אינטגרלי מהרובוט.
2	שימוש בתוכנת LABVIEW המאפשרת שליטה בסמרטפון וברובוט באותו האופן המוכר כיום.
3	אוסף של פקודות עבודה חדשות ומלהיבות, המאפשרות לעשות שימוש מהנה בסמרטפון כחלק מהרובוט, כדוגמת שימוש: במצלמה, במיקרופון, במערך החיישנים, בצג הצבעוני, במערכת השמע המשוכללת, דבר המאפשר פונקציונליות גבוהה, כדוגמת: זיהוי דיבור, ניווט חכם בדומה לרכב אוטונומי, וידאו בתנועה, הצגת מידע ויזואלי, ועוד יישומים שרק הדמיון יכול להגביל אותם.

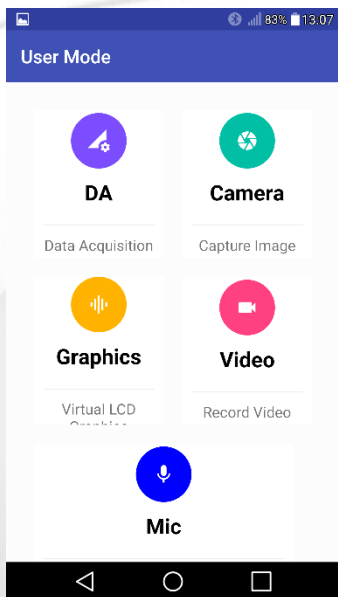
Robophone – System Components



- 1 Software installed on the computer and the Smartphone, turning the latter to an integral part of the robot.
- 2 Using the LABVIEW software allows controlling smartphones and robot in the same manner as today.
- 3 A collection of exciting new modules, enabling use of smartphones as part of the robot, which allows for **higher functionality**, such as:
 - “Deep learning”,
 - smart navigation similar to “autonomous vehicles”,
 - Sensing & video In motion,
 - Visual information,
 - and other applications that only imagination can limit.

רובופון – מודולים פונקציונליים

גישה אל מערך שלם של חיישנים הקיים כיום : בסמרטפון בטאבלט ובאפשרות לחיבור לאמצעי חישה מ-IoT, כמערכת איסוף נתונים מקצועית, לרבות טיפול : באיכות הנתונים, עיבוד המידע, שינוע בתקשורת אלחוטית, אחסון מקומי ובענן.

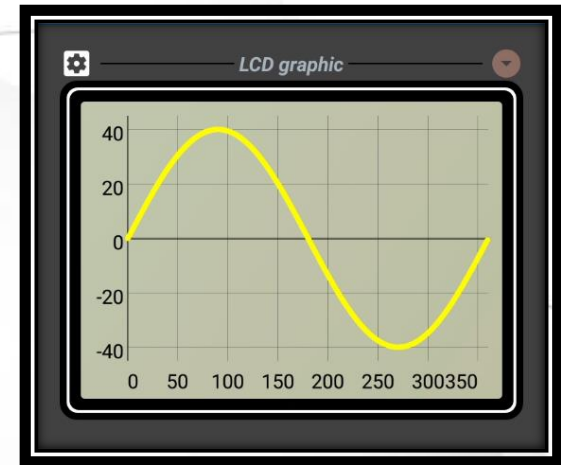
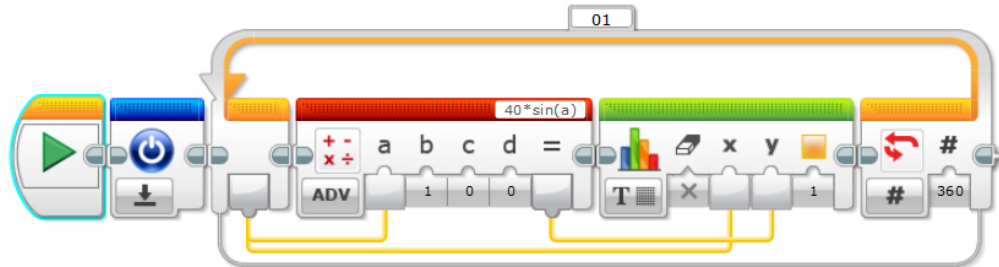


מערך חיישנים זה מחולק לקטגוריות הבאות :

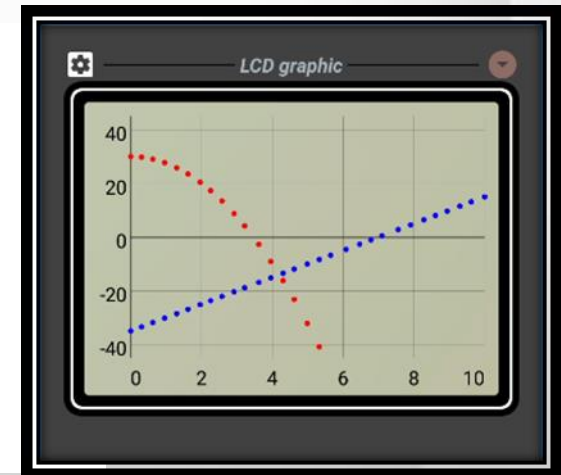
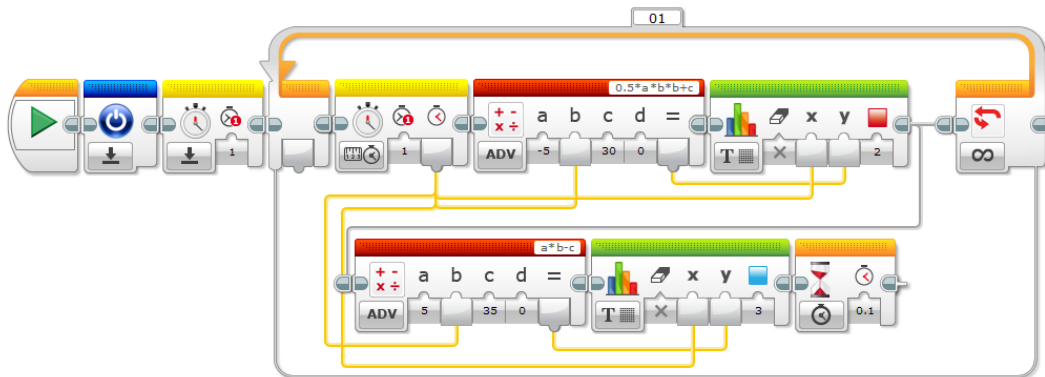
- חיישנים לפיסיקה ניוטונית (כדוגמת : הגרביטציה, גיירו ואקסלרומטר),
- חיישנים לעיבוד אותות (כדוגמת : מצלמה, מיקרופון ו-AUX לסיגנל חיצוני)
- חיישנים וירטואליים (כדוגמת : מפסקים, מקשי טלפוניה, זיהוי דיבור)
- חיישנים נוספים שיקושרו באופן דינאמי כ-IoT והן באופן רשתי, לחישה של ערכים פיסיקליים, כימיים, ביולוגיים וכול תופעת טבע מדידה באשר היא.

Robophone – Modular Programming

drawing a simple sin(x) function



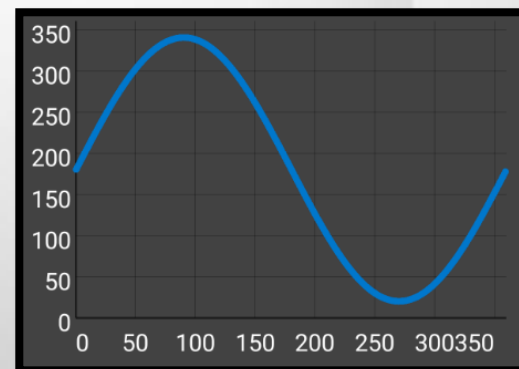
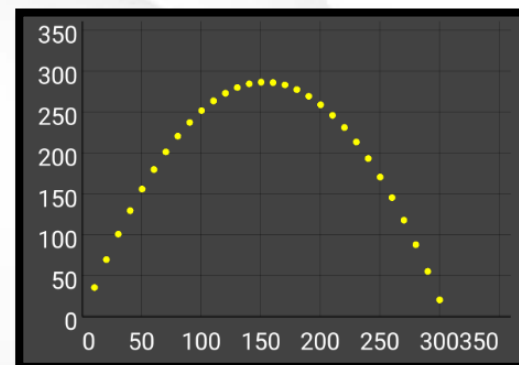
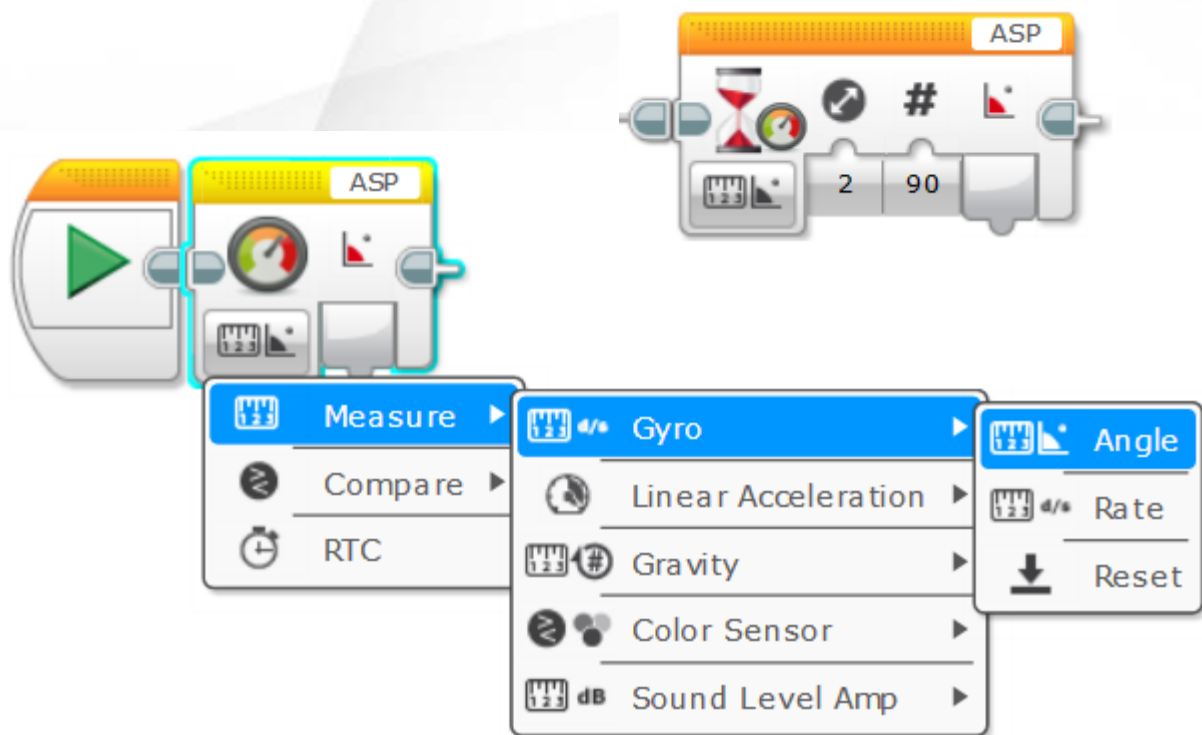
Drawing multiple graphs



רובופון – חיישנים פיזיקליים

❖ כניסה: בחירת מתוך תפריט.

❖ יציאה: הערך הפיזיקלי בהתאם לבחירה



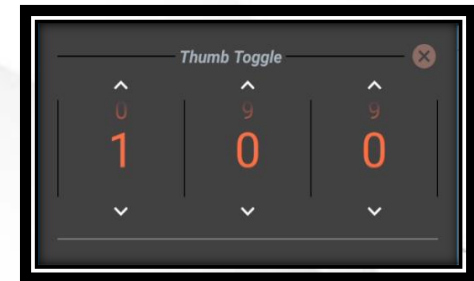
Virtual Sensors



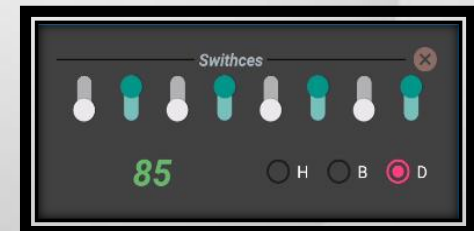
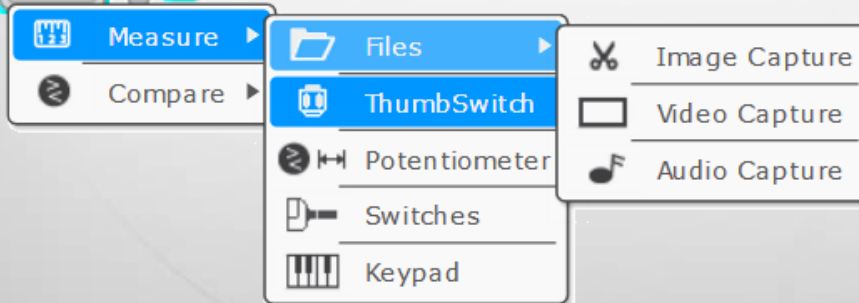
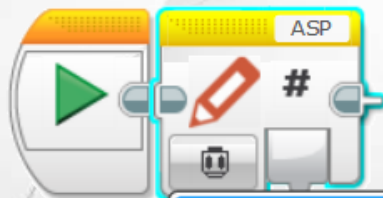
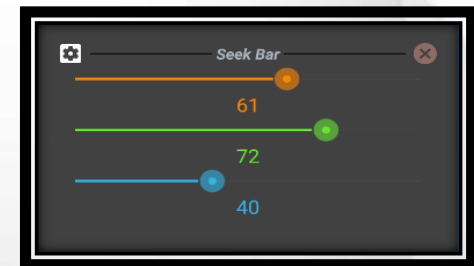
Keypad Brick Buttons



Thumb Toggle



Potentiometers



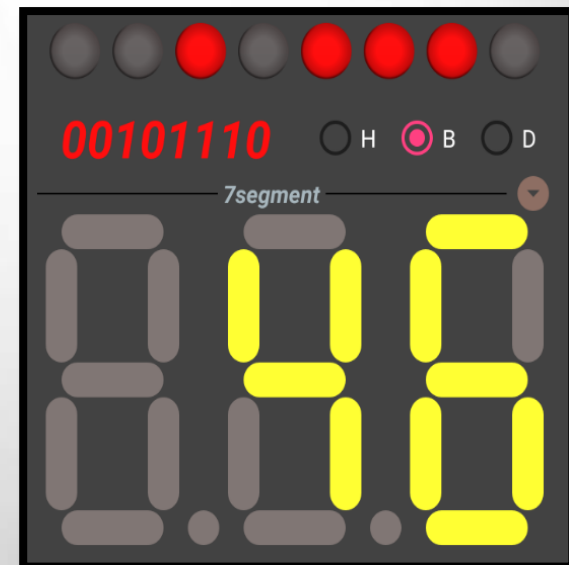
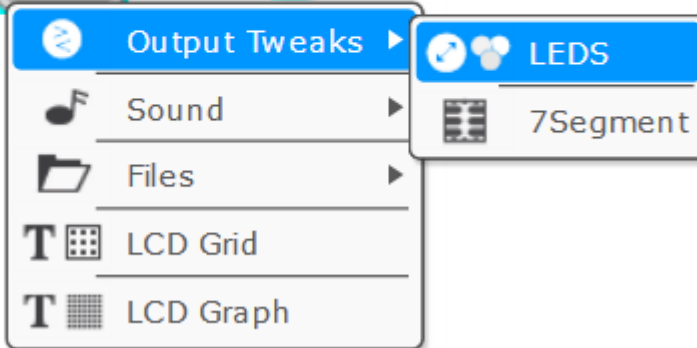
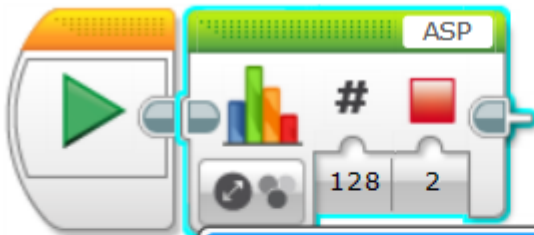
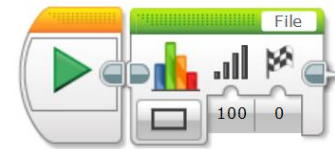
Virtual Actions Category



❖ Show Image File



❖ Play Video file

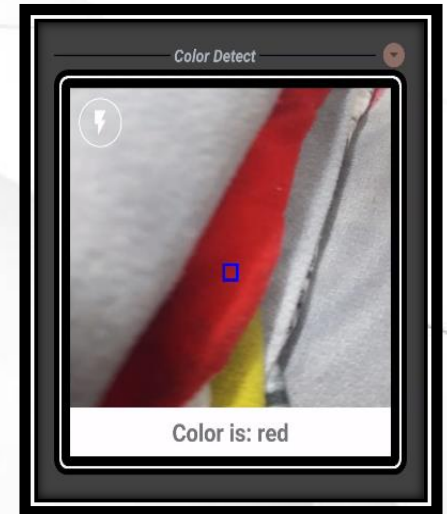
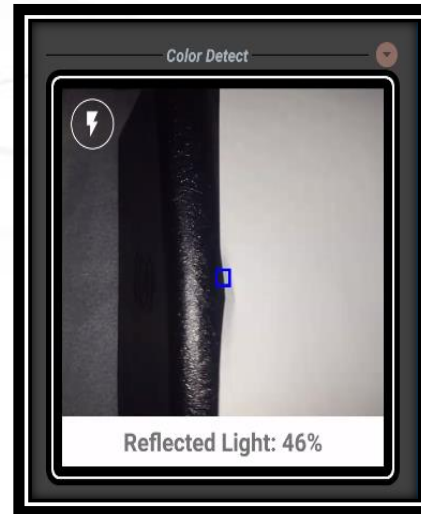
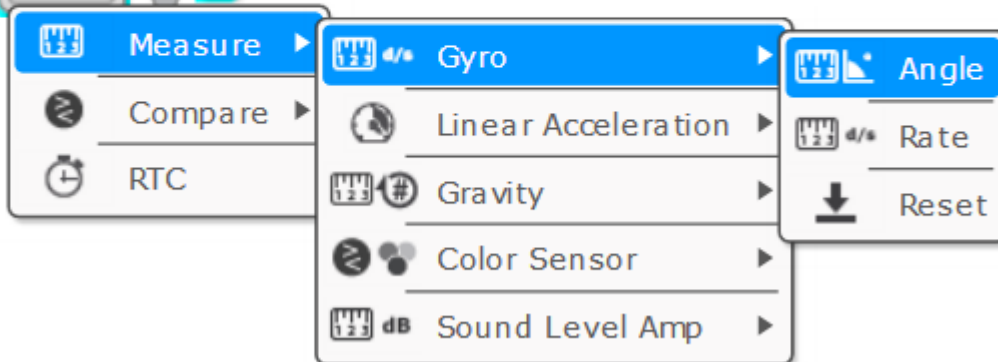


Physical Sensors

❖ Linear Acceleration



- Measured Acceleration values in the 3 available axis [cm/sec²]



Telephony Outputs / Inputs



Run Link

Running any web link.



Inputs

- Web link as a String input

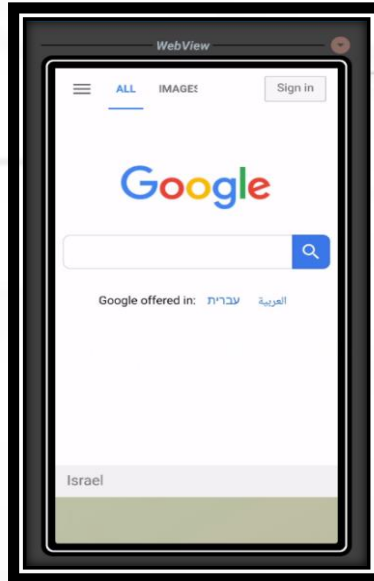
Voice to Text

Voice to text implementation.



Inputs

- Language: Hebrew, English or Arabic.
- Edit Boolean : true to override previous saved words, false to use the latest saved key words



Send SMS

Sending an SMS message.



Inputs

- Global phone number
- SMS body String.

Read Call

Reading any new input call.



Inputs

- None

Outputs

- The phone number of the incoming call.

Advanced Category

❖ Data Acquisition

Sampling the smartphone's sensor at chosen rate and time.



Inputs

☐ 0	Gr _x
☐ 1	Gr _y
☒ 2	Gr _z
☒ 3	An
☐ 4	Gy _x
☒ 5	Gy _y
☐ 6	Gy _z
☐ 7	LA _x
☐ 8	LA _y
☐ 9	LA _z

- Choose the File Name to save the data → default = "MyData"
- Choose the sensors you would like to sample
- Choosing the sampling duration in seconds → default = 10 [sec]
- Choose a sampling rate that ranges from 0-100Hz → default = 50[Hz]

Orientation: ☐ X ☐ Y ☐ Z Duration:

Gyroscope: ☒ X ☐ Y ☐ Z

LinearAcce: ☐ X ☒ Y ☒ Z

Magnetic: ☐ X ☐ Y ☐ Z

Gravity: ☐ X ☐ Y ☒ Z

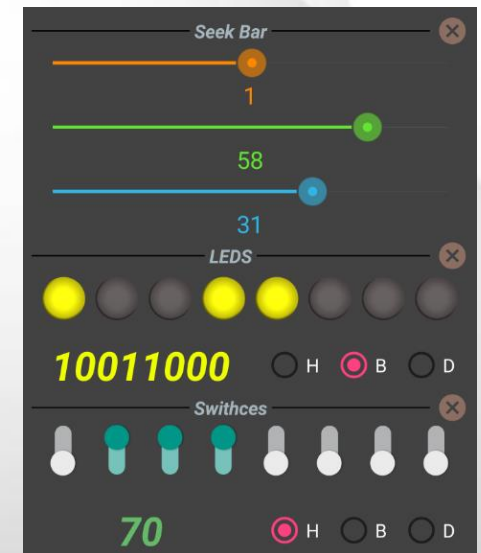
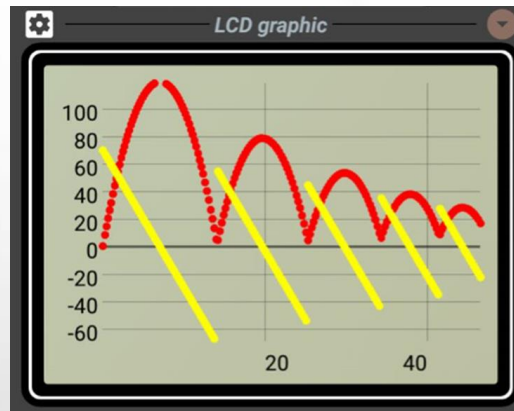
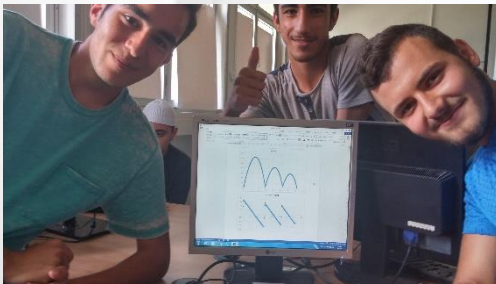
Light: ☒ L Mic: ☒ M 4Hz ▾

Record: 44100Hz ▾

Play:

Appendix II

- Examples of our developed S/W Modules, providing a seamless integration between EV3 / LabView environment with Android Smartphones:



רובופון – "מטוטלת פיזיקלית"

דוגמת סקיצת תוצר סופי – "מטוטלת פיזיקלית" המבוצע ע"י רובופון

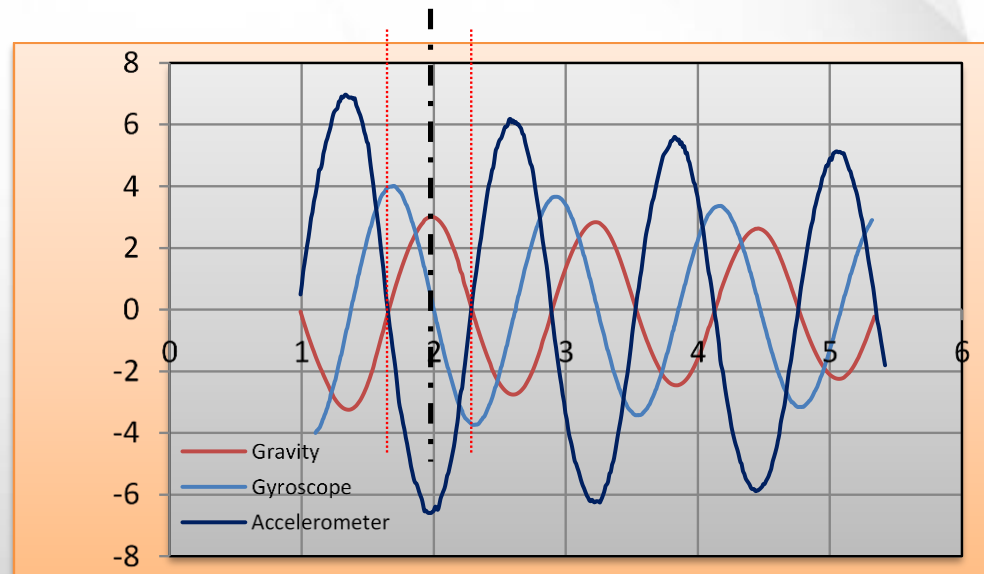
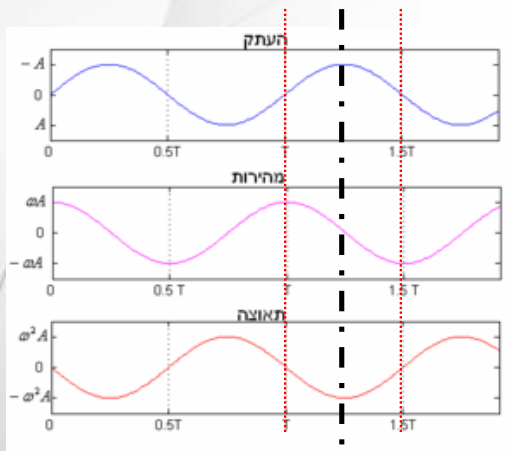
- מערכת שידור וקליטה אלחוטית מסוג Bluetooth בין הסמרטפון והרובוט ו-Wi-Fi הטאבלט והענן.
- שימוש בסמרטפון בחיישני: ג'ירו, אקסלרומטר ליניארי.
- הטאבלט משמש כצג (כסופ דיגיטלי) ויחידת שו"ב.
- הערכה הרובוטית משמשת להנעת המטוטלת, כשהסמרטפון "מתנדנד"



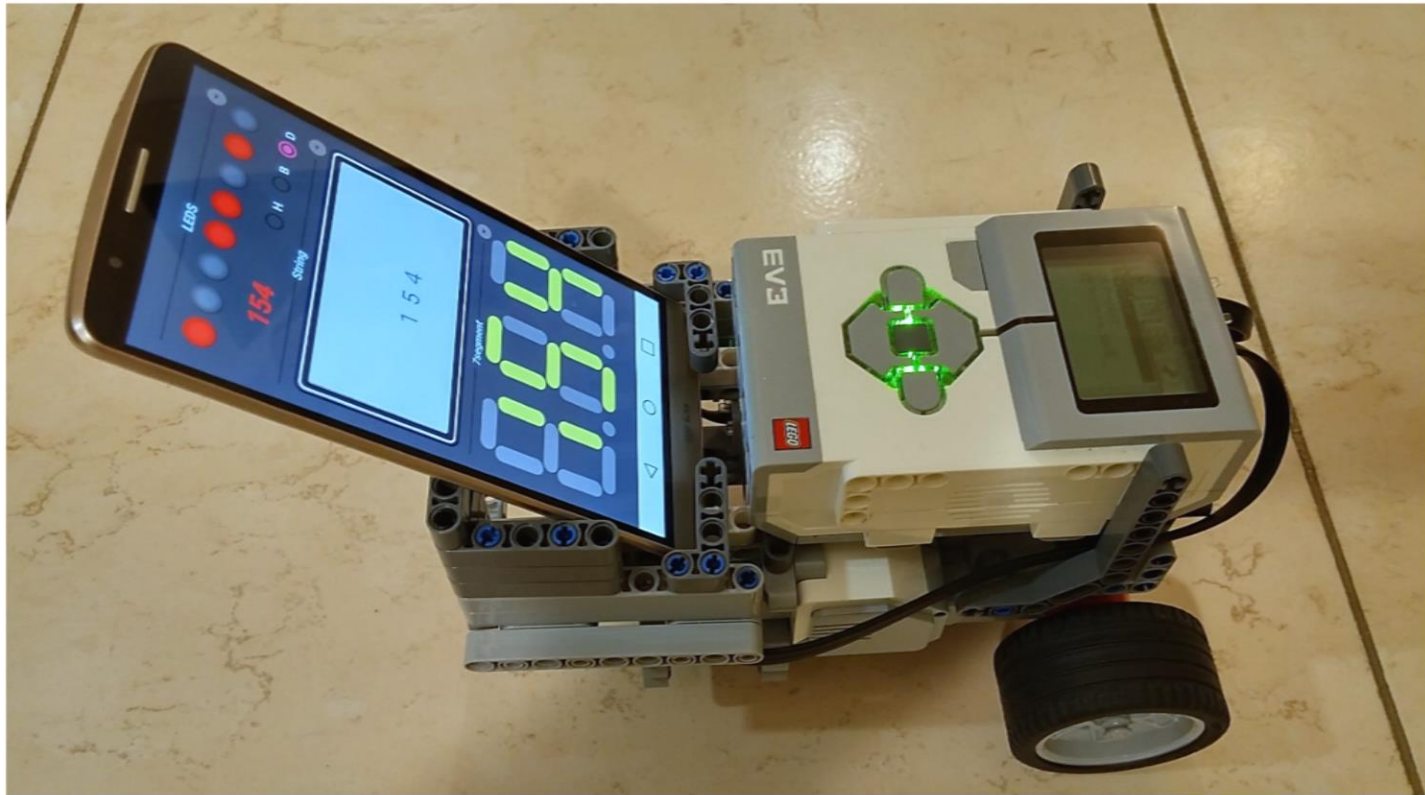
רובופון – סקיצת התוצר (אותות)

בהשוואה בין הגרפים בטאבלט לעומת האיור התיאורטי – הפרש הפאזה האורתוגונאלי נשמר.

- העתק (זווית) $[4 \cdot \text{RAD}]$ – מחיישן הגרוויטציה (מציר Z – באדום).
- מהירות זוויתית $[\text{RAD}/\text{sec}]$ – מחיישן הג'ירו (סביב ציר X – בתכלת).
- תאוצה $[\text{m}/\text{sec}^2]$ – מחיישן התאוצה הליניארית (מציר Z – בכחול).
- ציר הזמן $[\text{sec}]$ תדר הדגימה של ההעתק והתאוצה: 100Hz ושל המהירות הזוויתית: 200Hz .



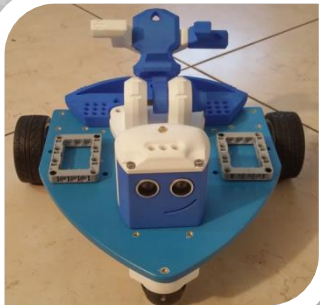
רובופון – המיושם על לגו EV3



רובופן – המיושם על הרובוט שלנו



Robophone H/W Prototype



תודות

