זיהוי קונוסים במסלול מוטורי בזמן אמת על ידי חיישן למדידת מרחק מהווה אתגר בעיקר בשל מהירות התנועה הגבוהה הצפויה בתחרות הפורמולה. אתגר הזיהוי בזמן אמת ובמהירות גבוהה מצריך בראש ובראשונה בדיקה מקפה של חיישני מרחק הקיימים בשוק המסוגלים לספק מענה עבור אתגר זה.

באפיון התחלתי של בעיית זיהוי העצמים נמצא כי התכונה הקריטית מבחינתנו בבחירת החיישן הינה קצב הדגימות לשנייה אשר נובע מכמות שליחת "נקודות האינפורמציה" לשנייה (points per second) אותו מספק החיישן אל צד שלישי (במקרה שלנו, מדובר על מערכת עיבוד המידע). לכן בהשוואה שלפניכם אחד הדגשים העיקריים יהיה על תכונה זו, וכמו כן יבדקו המאפיינים הבאים של החיישן: מס' ערוצי מידע, טווח, מידת דיוק (מרחק), שדה ראייה (מאוזן/מאונך), רזולוציה זוויתית, תדר עבודה, הספק צריכה, מתח הזנה, טמפרטורת עבודה, משקל ומאפייני מפתח נוספים.

להלן החיישנים העיקריים אותם בדקנו במהלך חקר הנושא:

1. **FR 55-RLAP:**

**FR**- photo reflective, 55(housing size), **R**ed **L**aser, **A**nalog output, high **P**recision



חיישן מרחק באמצעות לייזר אדום (655 nm) אשר נועד למדידת מרחקים גדולים למטרת זיהוי מטרות, בקרת תנועה ומניעת התנגשויות. החיישן עובד באמצעות טכנולוגיית מדידת מרחק שמחשבת את זמן החזר קרן הלייזר מרגע שידורה. מדידת המרחק מתבצעת באמצעות קרן לייזר אחת (ליניארי), כאשר מדידת המרחק מתבצעת באופן אנלוגי בהתאם לכמות הפוטונים שנקלטו בגלאי (זרם).

יתרונות עיקריים: זול, משקל נמוך, צריכת הספק נמוכה.

חסרונות עיקריים: מפיק מידע אנלוגי מאוד מצומצם (כמות החזר פוטונים- נמדד ביחידות mA), כמות אינפורמציה לשנייה מאוד נמוכה (קצב עבודה נמוך).

1. **MB7583 SCXL-MaxSonar- WR:**

**S**elf-**C**leaning, **H**igh **R**esolution, **W**eather **R**esistant, Ultrasonic Sensor

חיישן מרחק באמצעות גל קול, אשר נועד למדידת מרחקים בינוניים/קטנים עבור מטרות זיהוי מטרות. החיישן עמיד מאוד לתנאי מזג האוויר קשים, ובעל אלגוריתם המקנה יכולת גבוהה לביצוע סינון רעשים סביבתיים.

קיימת אפשרות לבחירה בין שני סוגי חיישנים עיקריים, כאשר הראשון מטרתו לזהות את המרחק מהאובייקט הגדול ביותר בסביבה, והסוג השני מאפשר למדוד מרחק מהאובייקט הקרוב ביותר לחיישן.

מדידת המרחק מתבצעת בפועל על ידי שידור פולס (גל קול, תדר לא מפורט) מהחיישן ברוחב אלומה ספציפי (כתלות במתח אספקה), כאשר המרחק עצמו נמדד לפי מדידת הזמן שעבר מרגע השידור עד רגע קבלת ההחזר של גל הקול. מדד המוצא הינו מתח אנלוגי התלוי ב- Time of Flight.

חיישנים אלו אינם מושפעים מצבעו של האובייקט או ממאפיינים ויזואליים אחרים.

יתרונות עיקריים: זול, צריכת הספק נמוכה מאוד.

חסרונות עיקריים: כמות אינפורמציה לשנייה נמוכה, מוגבל מרחק.

1. **חיישני לייזר מבית Velodyne:**

חברת Velodyne מייצרת כמה דגמים של חיישני מרחק המתבססים על שידור אותות לייזר (903nm) ופועלים על בסיס מדידת הזמן שעבר מרגע תחילת השידור עד לקליטתו. היתרון היחסי של מוצרי החברה על פני שאר החיישנים הקיימים בשוק הינם קצב הדגימה הגבוה מאוד (המאפשר שימוש במוצרים על גבי רכבים אוטונומיים) והמידע הרחב המסופק בכל דגימה שכזו- לרוב מדובר על מרחק לנקודה, זווית לנקודה, רמת ההחזר (תלויה בסוג חומר האובייקט וצבעו) וחותמת זמן. בנוסף, בשונה משאר החיישנים בשוק, בחיישנים אלו ניתן לבצע סקירה מרחבית של °360 בכל דגימה.

החיישנים העיקריים המוצעים כיום על ידי החברה הינם-

(Hi-res\Lite) HDL-64E , HDL-32E, PUCK 16.

המספר המצוין בדגמים אלו, למעשה מתאר את כמות הלייזרים שדוגמים בבת אחת את המרחב (בכל פקטת מידע), ולכן ביחס ישר ככל שכמות הלייזרים גדולה יותר, כך המפתח הזוויתי האנכי גדל. בשל המחירים הגבוהים מאוד של הדגמים המתקדמים, נתמקד בהשוואה זו בדגם PUCK 16.

**VLP-16:** חיישן זה בעל 16 לייזרים, המאפשרים לסקור את המרחב ב- °360, ובמפתח זוויתי של °15 מהציר הליניארי לחיישן. קצב העברת המידע בחיישן זה הינו 754 פקטות לשנייה, כאשר כמות הנקודות המסופקות בפקטה אחת הינה-

12 בלוקי מידע \* 16 לייזרים \* 2 דגימות בבלוק = 384 נקודות מידע לפקטה.

למעשה, בפועל בשנייה אחת אנו מגיעים לכ- 300,000 נקודות מידע שמסופקות למערכת העיבוד.

יתרונות עיקריים: מרחק גבוה, כמות אינפורמציה לשנייה גבוהה מאוד,

מידע איכותי ואמין.

חסרונות עיקריים: מחיר יקר מאוד, מידות, הספק גבוה יחסית.

להלן סיכום כלל המאפיינים שנבדקו:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **MB7583 SCXL** | **FR 55-RLAP** | **VLP-16**  **Velodyne** | **Sensor** |
| Time of flight for sound | Laser- 655 nm wavelength | Laser- 903 nm wavelength | Work method |
| 1 | 1 | 16 | Num of channels |
| 0.3-5 / 0.5-10 | 0.3-70 | 1-100 | Range(m) |
| 5mm / 10mm | 8 (µA) | 3± | Accuracy(cm) |
| +5° to -5° | linear | 360° | Field of view (horizontal) |
| - | - | +15° to -15° | Field of view (vertical) |
| Pulse width resolution | - | 5 HZ- 0.1°  10 HZ- 0.2°  20 HZ- 0.4° | Angular resolution |
| - | - | 5 - 20 | Rotation rates(Hz) |
| 340 mw | 1.8 - 3 | 8 | Power consumption (w) |
| 2.7 - 5.5 | 18 - 30 | 9 - 32 | Operating voltage (VDC) |
| -40° to + 65° | -30° to + 60° | -10° to + 60° | Operating temperature |
| - | 42 | 830 | Weight (g) |
| 1,066 | Current: 4-20 (mA) | 300,000 | Output (points per sec) |
| Serial mode- 9600 baud rate, with package size of 9 bits. | 10ms response time = 100Hz | 6 ns (duration)  1.44μs \* 16 lasers per pattern for a period of 46.1 μs = 21.7KHz | Repetition Rate |
| Self-cleaning algorithm, Internal temperature compensation, 2 operational modes (largest/closest) | Analog measurement, 4 distance positions with 2 switching outputs, visible laser light | Contains UDP packets, which includes: distances, Calibrated reflectivity, Rotation angles, time stamps, $GPRMC NMEA sentence | Special features |
| 175$ | 300€ | 8000$ | Price |

לסיכום, כפי שניתן להתרשם מבחינת איכות המידע וכמות הדגימות לשנייה, הבחירה האופטימאלית לצרכי זיהוי אובייקטים במהירות גבוהה הינה חיישן מרחק VLP-16 של חברת Velodyne. מגבלת המחיר הגבוה של חיישן זה, הינה המשמעותית ביותר מבחינת המשאבים המצומצמים שעמדו לרשותנו בהגדרת פרויקט זה, אך העובדה כי חיישן זה נרכש בעבר עבור מעבדת VISL בפקולטה להנדסת חשמל בטכניון, למעשה אפשרה לנו מראש להתייחס אל האפשרות להשתמש בו כשרירה וקיימת.

כפי שהוסבר בתחילה, שמנו דגש על תכונת הרזולוציה בציר האזימוט בבחירת החיישן המתאים לביצוע אתגר זיהוי האובייקטים. בחישוב שביצענו הגענו למסקנה שלאור אופי המסלול המוטורי הצפוי ומרחקי הקונוסים, אנו נאלץ להשתמש במידע חלקי בלבד מתוך כלל המידע אותו מציע חיישן ה- VLP-16.

למעשה, אנו זקוקים לנתוני הנקודות הנמדדות באמצעות הלייזר שממוקם על ציר ה- °0 (ציר מישור הרכב), אך למיטב הבנתנו (מתוך נתוני היצרן) לא ממוקם לייזר בזווית זו בתוך החיישן, אלא ממוקמים שני לייזרים בזויות של °1+ ו- °1- ולכן האפשרויות העומדות לפנינו הן:

1. שני הלייזרים הללו ייקחו חלק בזיהוי קונוסים, כאשר מכיוון שקצב הדגימות לשנייה של לייזר בודד הינו , אנו מצפים לקבל כמות של כ- 37,500 נקודות דגימה בשנייה (אשר רלוונטיות לצרכנו).

יתרון עיקרי- כמות מידע יותר גדולה לשנייה אשר תאפשר לאשרר באופן ודאי יותר את זיהוי הקונוס.

חסרון עיקרי- קיים חשש מ"פספוס" מטרות רחוקות במהירויות גבוהות, בשל אי לקיחת הדגימה מהציר המישורי.

1. לייזר בודד ייקח חלק בזיהוי קונוסים, כאשר מכיוון שלא קיים לייזר בציר המישורי, החיישן שייבחר ימוקם בזווית של °1 ביחס לקרקע, וזאת על מנת לבצע תיקון הכרחי לקליטת דגימה מהציר המישורי.

יתרון עיקרי- אין חשש מאי מציאת אובייקט במרחק גדול במהירות גבוהה, וזאת בשל לקיחת הדגימה מציר הרכב.

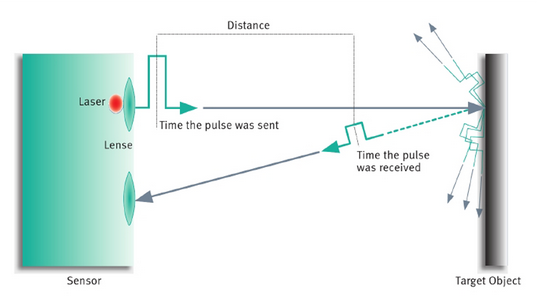
חסרון עיקרי- כמות מידע קטנה יותר לשנייה, מלייזר בודד (18,750 נקודות).

טכנולוגית מדידת מרחק PRT- pulse ranging technology

ניתן להיווכח כי כלל חיישני המרחק שנבדקו בהשוואה במהלך פרויקט זה, מסתמכים על אופן חישוב המרחק מהאובייקט באמצעות חישוב זמן החזרת קרן האור/גל הקול בשיטה שנקראת Time of Flight .

מרחק בין 2 נקודות מחושב על פי הנוסחה-  *, כאשר c הינו מהירות האור, ו- t הינו כמות הזמן הכולל שלקח לקרן האור/גל הקול לעבור בתווך מרגע השידור ועד רגע החזרה למקלט. ניתן לחשב זמן זה כך- , כאשר הינו פאזת הגל, ו- הינו המהירות הזוויתית של הגל.*

*דיוק המדידה בשיטה זו נקבע על פי זמן העלייה/ירידה של פולס אות הלייזר ועל פי מהירות תגובת המקלט. חיישן שמשתמש בקרן לייזר בעלת אלומה חדה ובמקלט בעל זמן תגובה מהיר יכול להגיע לדיוק מדידה של מילימטרים בודדים.*

*באיור הבא, ניתן להתבונן באופן בו מדידת המרחק מתבצעת:*

*איור מס' # - המחשת אופן מדידה* TOF