מנוע זיהוי קפיצות V14 – סקירה מקצה לקצה

JumpDetectorV14 / JumpEngineV14 · Kiters Watch App · מסמך סיכום טכני

תוכן העניינים

1. רעיון הליבה
2. ערוצי הקלט
3. מצב רכיבה (Riding) – בסיס הייחוס
4. זיהוי המראה (Takeoff)
5. שלב האוויר (Airborne)
6. זיהוי הנחיתה (Touchdown)
7. אישור נחיתה (Landing Confirm)
8. חלון האבסולוטי – הפעלה על-פי דרישה (On-Demand)
9. חישוב הגובה הסופי
10. ציון ביטחון (Confidence)
11. מקרי קצה ואירועים חריגים
12. טבלת פרמטרים מרכזית

1. רעיון הליבה

V14 הוא מנוע "היברידי": הזיהוי עצמו – מתי קפיצה מתחילה ומתי היא נגמרת – מבוסס כמעט אך ורק על ה-IMU (תאוצה וג'יירו) ועל ערוץ הלחץ היחסי (הברומטר), שני ערוצים שרצים ברציפות לאורך כל הסשן. ערוץ הגובה האבסולוטי (GPS+ברומטר מפוזרים של המערכת, CMAltimeter) אינו לוקח כל חלק בזיהוי עצמו – הוא נכנס לתמונה רק **אחרי** שקפיצה כבר זוהתה, ורק כדי לשמש כמקור-גובה מדויק יותר. המשמעות: המנוע פונקציונלי לגמרי גם בלי אבסולוטי, וגם בלי GPS. שני הערוצים הללו הם תוספת לאיכות המדידה, לא תנאי לזיהוי.

המנוע פועל כמכונת מצבים (state machine) עם שלושה מצבים בלבד:

Riding (רוכב, מחפש המראה) → **Airborne** (באוויר, עוקב אחרי השיא) → **Landing Confirm** (ממתין לבסיס יציב) → חזרה ל-**Riding** (עם פליטת תוצאת קפיצה)

2. ערוצי הקלט

- **IMU (200Hz):** "עומס אנכי" (vertical load) בגרם – היטל תאוצת המשתמש על וקטור הכובד, פלוס גודל הכובד עצמו. במנוחה זה כ-1g, בנפילה חופשית (רגע ההמראה) זה יורד לכ-0g, ובפגיעה/דחיפה זה קופץ מעל 1g. בנוסף נמדד גודל סיבוב הג'יירוסקופ (rad/s), המשמש לזיהוי סיבובים ולשער "רעש תזוזה".
- **לחץ יחסי (ברומטר):** ערוץ רציף לאורך כל הסשן. משמש לחישוב בסיס-ייחוס (baseline) של גובה הרוכב ברגע נתון, ולמעקב אחרי שיא הגובה היחסי בזמן הטיסה.

- **לחץ אבסולוטי (CMAltimeter):** ערוץ שמופעל ומכובה על-פי דרישה בלבד – ר׳ סעיף 8. כשהוא פעיל, הוא מספק ערך גובה מוחלט (מטרים מעל פני הים) המשמש כמקור הגובה המועדף כאשר הוא ״בריא״.
- **מגע מים (Submersion):** דגל בוליאני – רטוב/יבש. משמש אך ורק כשער בשלב ההמראה (ר׳ סעיף 4).
- **GPS:** מטא-דאטה בלבד – מהירות, מרחק, קואורדינטות. תורם לביטחון התוצאה ולשער אחד ספציפי בהמראה (מהירות מינימלית), אך לעולם אינו שער חובה: בהעדר קליטת GPS, המנוע ממשיך לפעול במלואו.

3. מצב רכיבה (Riding) – בסיס הייחוס

לאורך כל הזמן שהמנוע נמצא במצב Riding, הוא מחשב באופן רציף **חציון נגלל** (rolling median) של ערוץ הלחץ היחסי על פני חלון של כ-4 שניות (בין 3 ל-5 שניות, ניתן לכיוונון). זהו ״בסיס הגובה״ של הרוכב ברגע נתון – הגובה שממנו תימדד הקפיצה הבאה.

> נבחר דווקא **חציון** ולא ממוצע, מסיבה פיזית ברורה: טבילת פרק כף היד במים יוצרת קפיצת לחץ שלילית ענקית (כ-8 מטר ״מדומים״ לכל סנטימטר מים מעל החיישן). ממוצע היה נגרר כלפי מטה בעשרות מטרים מכל טבילה כזו; חציון פשוט מתעלם מהחריגה ושומר על הבסיס האמיתי.

במקביל, המנוע עוקב אחר ״עומס מוחלק״ – ממוצע נע קצר (כ-0.15 שניות) של העומס האנכי מה-IMU. זהו הערך שבודק את קריטריון ה״אי-משקל״ (unweight) בהמראה.

4. זיהוי המראה (Takeoff)

קפיצה נפתחת רק כאשר **כל** התנאים הבאים מתקיימים בו-זמנית:

4.1 חתימת IMU – ״אי-משקל״ מתמשך

העומס המוחלק צריך לרדת אל מתחת לסף (0.75g כברירת מחדל) ולהישאר שם ברציפות למשך זמן מינימלי (0.35 שניות). זהו הרגע שבו פרק היד ״מרגיש״ את תחילת הניתוק מהמים – תחילת הקפיצה נקבעת בדיוק בתחילת חלון האי-משקל הזה (ולא ברגע שהחלון נסגר), כדי לשמור על דיוק תזמון מבוסס-IMU.

4.2 שלילת מגע מים פעיל

אם באותו רגע יש דיווח מים פעיל (הפרק טבול), הפתיחה נחסמת. הסיבה: טבילה במים **לעולם לא** יכולה לזייף עלייה אמיתית בגובה (הברומטר לא ישקר על כך), אבל היא בהחלט יכולה לזייף בדיוק את סימן ה״אי-משקל״ שמפעיל את הזיהוי – גל שמכסה את השעון לרגע יוצר תנודת כוח שנראית מאוד דומה להמראה אמיתית. חסימת המראה כשהמים נוגעים היא הדרך הפשוטה ביותר למנוע התרעות שווא מסוג זה.

4.3 שער ״רעש תנועה״ (Turbulence Gate)

המנוע בודק את הג׳יירוסקופ (סיבוב) והעומס הגולמי (לא מוחלק) בחלון קצר סביב רגע ההמראה – גם לפני הרגע (0.3 שניות אחורה) וגם אחריו (0.6 שניות קדימה, כבר בתוך שלב האוויר). ניתוח לוגים אמיתיים הראה שקפיצת רכיבה אמיתית תמיד ״שקטה״ – ניתוק חלק מהמים, בלי סיבוב פרוע ובלי עומס גולמי קיצוני. טלטול פרק היד, הפלת השעון או זריקה שלו – לעומת זאת – חוצים את הסף בבירור. אם הסיבוב או העומס הגולמי חוצים את הסף (ברירת מחדל: כ-8 rad/s ו-4g), המועמד נדחה כליל, גם אם כבר ״נפתח״ ברגע האחרון.

4.4 סיוע GPS (אופציונלי בלבד)

אם קיימת קריאת GPS קרובה לרגע ההמראה, נבדק שהמהירות אינה נמוכה מדי (סף של כ-3 מטר לשנייה). המטרה: לעמוד על החוף ולהניף את פרק היד יכול ליצור "נפילה חופשית" של שנייה שלמה, אבל הגלשן עצמו לא יכול. זהו שער שפועל אך ורק כאשר יש GPS זמין – בהיעדרו, אין חסימה.

4.5 מניעת הפעלה כפולה

לאחר נחיתה, יש חסם קצר (כ-0.8 שניות) שמונע פתיחת קפיצה נוספת מיידית – כדי שרעש נחיתה עצמו לא ייקרא כהמראה חדשה.

ברגע שכל התנאים מתקיימים, המנוע: (א) קובע את זמן ההמראה כתחילת חלון האי-משקל, (ב) שומר את בסיס הגובה היחסי שחושב לפני הרגע הזה, ו-(ג) **מבקש מהשכבה שמעליו להפעיל את זרם הגובה האבסולוטי** (ר' סעיף 8).

5. שלב האוויר (Airborne)

מרגע ההמראה, המנוע עוקב אחרי כמה דברים במקביל:

- **שיא גובה יחסי** – הערך המרבי של ערוץ הלחץ היחסי מעל בסיס ההמראה.
- **שיא גובה אבסולוטי** – הערך המרבי שמתקבל מהחלון הפתוח (אם וכאשר יש כזה).
- **עומס שיא (g) וסיבוב מרבי** – לצורך מטריקות תצוגה (עוצמת נחיתה, סל-טו).
- **אינטגרל סיבוב** – סכימת מהירות הסיבוב על פני זמן, ממנה מחושב מספר הסיבובים המלאים בקפיצה.

במקביל ממשיך להיבדק שער-הרעש הקדמי (סעיף 4.3): אם ברגעים הראשונים של הטיסה מתגלה סיבוב פרוע או עומס קיצוני, הטיסה כולה מבוטלת בדיעבד וחוזרת למצב רכיבה.

הטיסה מוגבלת מלמעלה בזמן מקסימלי פיזי (20 שניות כברירת מחדל) – אם חלף הזמן הזה בלי שזוהתה נחיתה, המועמד נדחה כתקלה (לא כתוצאה אמיתית).

6. זיהוי הנחיתה (Touchdown)

הטיסה מסתיימת באחד משני אופנים, והמוקדם מביניהם קובע:

1. **פגיעת נחיתה חדה:** העומס הגולמי (הלא-מוחלק) חוצה סף גבוה (1.9g כברירת מחדל) – זהו הרגע הקלאסי של נחיתה קשה.
2. **חזרת עומס מוחלק:** העומס המוחלק חוזר ועובר סף נמוך יותר (0.85g) ונשאר שם ברציפות (0.25 שניות) – מתאים לנחיתות רכות שאין בהן פגיעה בודדת וברורה.

משך הטיסה בפועל הוא בדיוק משך "האי-משקל" הנמדד – לא הערכה. המשמעות המעשית: תנודת יד קצרה באמצע רכיבה לא יכולה "להתנפח" לכמה שניות של טיסה מדומה, כי ברגע שהעומס חוזר היא נסגרת.

7. אישור נחיתה (Landing Confirm)

זיהוי רגע המגע אינו מספיק כדי לסיים את הקפיצה מיידית – המנוע ממתין לכך שבסיס הגובה היחסי **יתייצב מחדש**: נדרש חלון של כ-2 שניות רצופות שבו כל הערכים נשארים בטווח צר (0.6 מטר) אחד מהשני. רק אז נחשבת הנחיתה "מאושרת" (landingConfirmed=true) והתוצאה נפלטת סופית, ורק אז נסגר חלון האבסולוטי.

> במים סוערים הבסיס לפעמים לא מתייצב לעולם. כדי לא "לתלות" את הזיהוי לנצח, יש תקרת זמן (6 שניות כברירת מחדל) – אם חלפה בלי התייצבות, הקפיצה נפלטת בכל זאת, אך עם **ציון ביטחון מופחת** (landingConfirmed=false), במקום להיעלם בשקט.

מקרה קצה מטופל במפורש: אם בזמן ההמתנה לאישור הנחיתה מתחיל "אי-משקל" חדש (כלומר הרוכב כבר קפץ שוב לפני שהמנוע סיים "לתייק" את הקפיצה הקודמת), הקפיצה הקודמת נסגרת מיידית (ללא אישור נחיתה מלא) והמעקב עובר לקפיצה החדשה – כדי שרצף קפיצות מהיר לא יאבד אף קפיצה.

8. חלון האבסולוטי – הפעלה על-פי דרישה (On-Demand)

זהו ההבדל המרכזי בין V14 לגרסאות קודמות. במקום להריץ את חיישן הגובה האבסולוטי (`startAbsoluteAltitudeUpdates`) לאורך כל הסשן, V14 מפעיל אותו רק בחלון צר סביב כל קפיצה בפועל:

- **פתיחה:** ברגע שהמראה מזוהה (סוף סעיף 4) – לא מוקדם יותר.
- **סגירה:** ברגע שהנחיתה מאושרת (סעיף 7), או שהמועמד נפסל מכל סיבה (רעש תנועה, חריגת זמן טיסה וכו').

המנוע עצמו לא מפעיל את החיישן ישירות – הוא רק "מבקש" זאת מהשכבה שמעליו (`onAbsoluteWindowRequest`), וזו זו שמפעילה ומכבה את ה-CMAltimeter בפועל בזמן אמת. חשוב להדגיש: המנוע **אינו** מסתמך על "דיוק" (accuracy) מדווח מה-OS כדי להחליט אם לסמוך על הערך – הוא בודק בעצמו "בריאות ערוץ": אם נאספו לפחות שני ערכים שונים בפועל (לא קפוא על אותו מספר), הערוץ נחשב שמיש. כמו כן, אות ה"סנטינל" הידוע של המערכת (דיוק ≤100, המציין רגע כיול-מחדש עם ערך גובה חסר משמעות) נזרק אוטומטית ולא מוזן למנוע כלל.

> **למה על-פי דרישה ולא ברציפות?** חיישן הגובה האבסולוטי צריך זמן ארוך (בסדר גודל של עשר דקות) כדי "להתכייל" ולנעול על ערך יציב ומדויק, ולאורך הדרך הוא נוטה "לקפוא" על אותו ערך לדקות שלמות. הרצה רציפה על פני מים חושפת את הבעיה הזו במלואה ומחייבת מנגנוני הצתה-מחדש (watchdog) מורכבים שגם הם עלולים לאפס הקשר. V14 עוקף את כל הסיבוך הזה: הוא אף פעם לא מצפה לערך "מכויל", אלא רק לערך טרי שנדגם ממש ברגע הקפיצה, וסומך עליו רק אם הוא באמת השתנה בין דגימות. התוצאה: פחות סוללה, פחות מורכבות, ואין תלות בכיול ארוך-טווח.

9. חישוב הגובה הסופי

לאחר שהנחיתה מזוהה, המנוע בונה את גובה הקפיצה משלושה מקורות אפשריים, לפי סדר עדיפות ברור, כאשר כל מקור עובר קודם "מבחן פיזיקלי":

9.1 תקרה פיזיקלית (Ballistic Ceiling)

מזמן הטיסה הנמדד (airtime) ניתן לחשב את "הגובה הבליסטי" התיאורטי – הגובה המרבי שגוף בקפיצה חופשית יכול להגיע אליו במשך הזמן הזה (לפי $g \cdot T^2/8$). קפיצת קייט אמיתית יכולה רק **להאריך** את זמן הטיסה ביחס לגובה נתון (הכנף מוסיפה זמן, לא גובה "בחינם"), ולכן שום קפיצה אמיתית לא חורגת מהגובה הבליסטי בהרבה. כל מקור-גובה שנמדד וחורג מהתקרה הזו (מוכפלת במקדם ביטחון קטן, 1.3) נחשב לרעש חיישן ונפסל – המנוע פשוט עובר למקור הבא בתור.

9.2 סדר העדיפות

1. **גובה אבסולוטי** (peak בחלון הפתוח פחות חציון הגובה שאחרי הנחיתה) – בתנאי שהערוץ "בריא" (סעיף 8) ושהוא עומד בתקרה הפיזיקלית. לגובה האבסולוטי יש גם "רצפת אמון" עצמאית (2.5 מטר) – קפיצות קטנות שהערוץ מודד עד לגובה הזה מתקבלות על סמך הערוץ עצמו, גם אם התקרה הבליסטית טכנית נמוכה יותר (לקפיצות קצרות הערוץ נוטה "להאריך" מעט את התגובה שלו).
2. **גובה יחסי** (שיא הברומטר מעל הבסיס שחושב לפני ההמראה) – משמש כשאין גובה אבסולוטי שמיש, ועדיין חייב לעמוד בתקרה הבליסטית.
3. **גובה בליסטי** (מזמן הטיסה בלבד, $g \cdot T^2/8$) – מקור אחרון, המשמש כאשר שני ערוצי הלחץ נכשלו. מכיוון שזהו מקור המבוסס אך ורק על תזמון IMU בלי שום מדידת גובה בפועל, הוא כפוף לבדיקת "אימות צולב": אם ערוץ יחסי כן מדד עלייה בפועל אך זו

נמוכה משמעותית (פחות מ-40% מהגובה הבליסטי) מהצפוי – זו סתירה ברורה (פרק היד "התנתק ממשקל" אך לא עלה בגובה – טלטול, לא קפיצה) והתוצאה נפסלת כליל. גם ללא סתירה, אם הגובה הבליסטי משמעותי (מעל רצפת האמון) הוא מחייב אימות-מה – לפחות אחד מהערוצים חייב לתמוך בלפחות 40% מהגובה הצפוי.

9.3 סף מינימלי לספירה

לבסוף, הגובה הסופי (מכל מקור) נבדק מול ההגדרה האישית של המשתמש – "מ-כמה גובה לספור קפיצה" (1 / 1.5 / 2 מטר). זהו חלק אינטגרלי מנוסחת הזיהוי, לא רק מסנן תצוגה: קפיצה עם גובה סופי נמוך מהסף נדחית כליל ואינה נספרת.

10. ציון ביטחון (Confidence)

כל קפיצה שמתקבלת מקבלת ציון ביטחון בין 5% ל-95%, המחושב מנקודת פתיחה של 60% עם תוספות/הפחתות:

גורם	השפעה
נמדד דחף "פופ" (pop) לפני ההמראה	+5%
קיים מקור גובה אבסולוטי תקין	+15%
הגובה היחסי לפחות מחצית מהסף האישי	+10%
קיימת קריאת GPS בהמראה	+5%
הנחיתה **לא** אושרה במלואה (חלף זמן הקצוב, סעיף 7)	-15%

ציון הביטחון הוא בעצם "כמה מקורות עצמאיים תומכים בתוצאה" – קפיצה שנמדדה גם בברומטר וגם באבסולוטי, עם נחיתה נקייה ו-GPS תקין, תקבל ציון גבוה בהרבה מקפיצה שהתבססה רק על תזמון IMU עם נחיתה שלא התייצבה.

11. מקרי קצה ואירועים חריגים

- **ניתוק/הפעלה-מחדש של הזרם האבסולוטי:** V14 לעולם לא מאפס את המנוע בגלל ריסטארט ברמת החיישן – רק רושם אירוע ללוג. ההחלטה אם הערוץ שמיש נעשית תמיד לפי בדיקת "בריאות" (ערכים שונים בפועל), לא לפי מצב חיבור.
- **סיום סשן באמצע טיסה:** קפיצה שנמצאת בשלב Airborne כשהסשן מסתיים נזרקת (אין מספיק מידע לסגור אותה).
- **סיום סשן בזמן המתנה לאישור נחיתה:** נפלטת כתוצאה סופית, מסומנת כלא-מאושרת.
- **קפיצה חדשה לפני שהקודמת אושרה:** הקודמת נסגרת מיידית (לא מאושרת), והחדשה נפתחת – כדי לא לאבד קפיצות ברצף מהיר.
- **קפיצת "רעש" בברומטר בזמן טבילה:** שינוי לחץ קיצוני וחד (מעל 10 מטר בקפיצה אחת) נזרק מהערוץ היחסי כליל, ולא מוזן לחישוב הבסיס או השיא – עד שלוש דגימות רצופות "מחוץ לתחום" מאשרות בדיעבד שזו הזזת-מדד אמיתית (לא טבילה חולפת) ומקבלות את הרמה החדשה.

12. טבלת פרמטרים מרכזית

פרמטר	ערך ברירת מחדל	תפקיד
סף גובה לספירה (minRiseM)	1.0 מ' (בחירת משתמש: 1/1.5/2)	סף מינימלי לקפיצה נספרת
חלון חציון הבסיס (baselineWindowSec)	4.0 שנ'	חישוב בסיס הגובה היחסי
סף אי-משקל (unweightG)	0.75g	פתיחת המראה

משך אי-משקל מינ׳ (unweightSec)	0.35 שנ׳	פתיחת המראה
עוצמת פופ (popG)	1.6g	תוספת ביטחון (לא שער חובה)
עוצמת פגיעת נחיתה (landingImpactG)	1.9g	סגירת טיסה (נחיתה קשה)
תקרת עומס לסיום טיסה (flightLoadCeilingG)	0.85g	סגירת טיסה (נחיתה רכה)
יציבות נחיתה נדרשת (landingStableSec / Band)	2.0 שנ׳ / 0.6 מ׳	אישור סיום קפיצה
תקרת זמן לאישור (landingConfirmTimeoutSec)	6.0 שנ׳	פליטה מאולצת ללא אישור מלא
זמן טיסה מינ׳ / מקס׳	0.4 / 20.0 שנ׳	גבולות פיזיים על משך הטיסה
מקדם תקרה בליסטית (maxHeightBallisticFactor)	1.3×	פסילת גובה שחורג מהפיזיקה
רצפת אמון אבסולוטי (absoluteTrustFloorM)	2.5 מ׳	קבלת גובה אבסולוטי קטן על סמך עצמו
שבריר אימות בליסטי (ballisticCorroborationFraction)	0.4	אימות-צולב לגובה IMU-בלבד
סף רעש-תנועה (gyro / load)	~8 rad/s / 4g	פסילת ״המראה״ שהיא בעצם טלטול
מהירות GPS מינ׳ להמראה	3.0 מ׳/שנ׳ (רק אם יש GPS)	שלילת ״המראה״ תוך עמידה על החוף
חסימת המראה בזמן טבילה (blockTakeoffWhileSubmerged)	מופעל	מניעת זיהוי שווא ממגע מים

מסמך זה מתאר את ההתנהגות הקיימת של JumpDetectorV14 / JumpEngineV14 בקוד הפרויקט (Kiters Watch App). כל הערכים המספריים הם ברירות המחדל בקוד; חלקם ניתנים לכיוונון דרך הגדרות המשתמש באפליקציה.