



## בדיקת רחפנים: הכל אודות קשר הרדיו אתגרים בקשר הרדיו של מפעיל הרחפן, ופתרונות לבדיקת קשר זה באופן מקיף ויעיל

רדט ציוד ומערכות / AZIMUTH-ANRITSU <

### סקירה

מאמר זה דן בכמה מהגורמים המשפיעים על אמינות קשר הרדיו החיוני של רחפן, האתגרים הקשורים לבדיקת קשר רדיו זה, וכמה מהפתרונות לשיפור ופישוט הבדיקה.

### הקדמה

מעופף פשוט הנשלט באמצעות רדיו נקרא כלי טיס בלתי מאויש, או רחפן. הדור החדש של רחפנים קיבל שם חדש שישקף את רמת התחכום הגוברת: "מערכות טיס בלתי מאוישות", או UAS, שמתייחס לא רק לרחפן עצמו אלא כולל גם את מערכת השליטה (למשל, תחנת שליטה קרקעית או GCS), קשר הנתונים הייחודי, המצלמות או מטען ייעודי אחר, וכל ציוד תמיכה אחר. בעבר מערכות UAS נחשבו כשוק נישא, אך כעת הן מייצגות מגזר בתעשיית התעופה שצומח באופן מהיר, כאשר המכירות צפויות לעלות על סכום של 1.9 ביליון דולר עד לסוף שנת 2020. התעניינות הצרכנים ברחפנים שאינם צבאיים הולכת ועולה, והיא מונעת על ידי מספר היישומים שהם מציעים, שנדמה כאינסופי, למטרות פנאי ולמטרות תעשייתיות, אכיפת חוק, אנרגיה

קילומטרים. הרחפנים מסוגלים לשאת מצלמות המעבירות תמונות בשידור ישיר ולטוס במהירויות גבוהות, ומאפשרים למשתמשים לצלם מבצעי חיפוש והצלה, לבחון חוות סולאריות ואף לדווח בזמן אמת מאזורים מרוחקים או מסוכנים.

### קשר הנתונים החיוני

באופן טבעי, הקשר המאפשר העברת נתונים בין פקד הרדיו והרחפן הינו חיוני ביותר. בדיקה ויעול של קשר זה הינם בעלי חשיבות רבה ליצרני רחפנים, רכיבי רחפנים (כגון מודם-רדיו) ויישומי רחפנים, תוך התחשבות במספר הרב של גורמים המשפיעים על ביצוע הרחפן: קשר למרחקים ארוכים, כאשר ההספק המתקבל הוא נמוך וקיים עיכוב משמעותי בהפצה; אפקט דופלר בשל המהירות; ומפזרי אותות טבעיים ובנויים וכן מכשולים הקיימים בסביבה מרובת נתיבים (ראו איור 2 בעמוד הבא).

הרחפנים הזמינים בשוק כעת מסוגלים להגיע למהירות מקסימלית של כ-30 מייל/שעה, למרחק מקסימלי של כמייל אחד, על אף שנתונים אלו משתנים במהירות עם רחפנים בעלי יכולות טובות יותר. קשר

וחשמל, ייצור, תשתיות, תקשורת ובידור, חקלאות ומחקר (ראו איור 1 בעמוד הבא). מערכות טיס בלתי מאוישות מוסדרות על ידי רשות התעופה הארצית מטעם המדינה. שימוש ברחפנים שאינם צבאי (כגון לתחביב או למסחר) בארה"ב מוסדר על ידי רשות התעופה הפדרלית (FAA), אך נכון להיום ישנו מחסור בהוראות מדינתיות ופדרליות ברורות ועקביות. בעוד שה-FAA החל באישור היתרים לרחפנים מסחריים, כללים חדשים אודות השימוש ברחפן באזורים ציבוריים ובמרחב האווירי הארצי צפויים להתפרסם על ידי ה-FAA ב-2015, ויכללו הבהרות בנוגע לבטיחות כלי התעופה ומתן מענה במקרה חירום, פרטיות, הגנת מידע וחבות. הסוכנות האירופית לבטיחות בתעופה (EASA) כבר קבעה גישה חדשה להסדרת כלי טיס הנשלטים מרחוק.

הצמיחה הגדולה של תעשיית ה-UAS מונעת בעיקר על ידי חידושים שהופכים את הרחפנים לקלים יותר לשימוש ולפונקציונליים יותר, ובאותה עת מפחיתים את העלות ליחידה. למשל, רחפנים כיום ניתנים לשליטה מתחנת שליטה קרקעית או ממכשיר דיני ממרחק



העלאת הנתונים בין הרחפן והפקד הוא בעל תפוקה ממוצעת של 1.5 מגה-בייט/שניה (במקרה של רחפנים המשדרים נתונים וידאו בזמן אמת) ותפוקת הורדת נתונים של כ-300 קילו-בייט/שניה, המשמש בעיקר לשליחת נתוני שליטה.

### מאפייני הרדיו של רחפנים

עבור שליטה למרחקים ארוכים, רחפנים אזרחיים משתמשים בקשר Wi-Fi (2.4 ו-5.9 גיגה-הרץ) עם קשר מרחב מצב בעל מספר כניסות ויציאות (MIMO) בין הרחפן והשלט-רחוק. מרחב המצב מסייע להפחית את השפעות הסביבה מרובת הנתונים ותנאי רדיו מאתגרים, ולשפר את חוזק הקשר, בעיקר כאשר הרחפן נמצא בקצה אזור הכיסוי. התצורה הנפוצה ביותר משתמשת בשתי אנטנות בשני הקצוות.

### דעיכת אנטנות

כתלות באוריינטציה (מיקום האנטנות וההפרדה ביניהן), חוזק האות המתקבל בשתי האנטנות יכול להיות דומה או שונה באופן מהותי. במקרה של רחפנים, שתי האנטנות ממוקמות בדרך-כלל בשתי זרועות מנוגדות של המכשיר, מתחת ללהבים, כפי שמצוין באיור שלהלן. טופולוגיה זו של האנטנות עשויה לגרום למצב שבו אנטנה אחת מוצללת (דועכת) עבור נתיבי תנועה מסוימים (ראו איור 3). למשל, נתבונן ברחפן המסתובב על ציר במרחק קבוע משלט רחוק בעל קשר ישיר (כגון רכיב קו ראייה). למשך זמן קצר, כל אנטנה תוסתר לסירוגין על ידי גוף הרחפן. ירידת העצמה כתוצאה מכך מובאת באיורים 4-5.

ירידה בורם המתקבל ניתנת לצפייה (עבור כל אנטנה) כאשר גוף הרחפן נמצא בין השלט-רחוק והאנטנה; הירידה בורם תלויה ברחפן עצמו (בהנדסה שלו ובחומרים מהם עשוי) ובתרחיש (מרחק, הסביבה הקרובה). במצב זה היתרון של מרחב המצב מגיע לידי ביטוי; לא תהיה נקודת זמן שבה שתי האנטנות יהיו בדעיכה (מוצללות) בו-זמנית.

### השפעת הנטייה

עצמת האות המתקבל בכל אנטנה מושפעת גם מזווית הנטייה - זווית הרחפן ביחס למישור האופקי (ראו איור 6 בעמוד הבא).

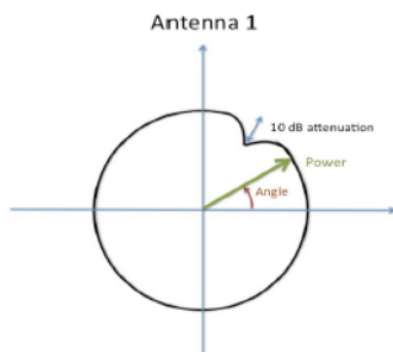
איור 1. רחפן משמש ביישומים מסחריים



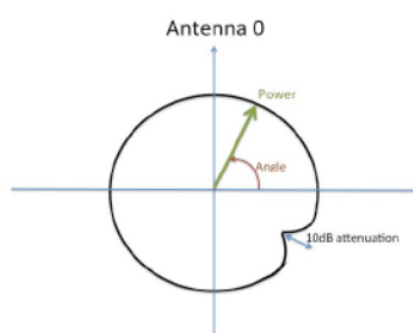
איור 3. מיקומי האנטנות



איור 2. רחפן בעל מצלמה משמש בסביבה מרובת נתיבים



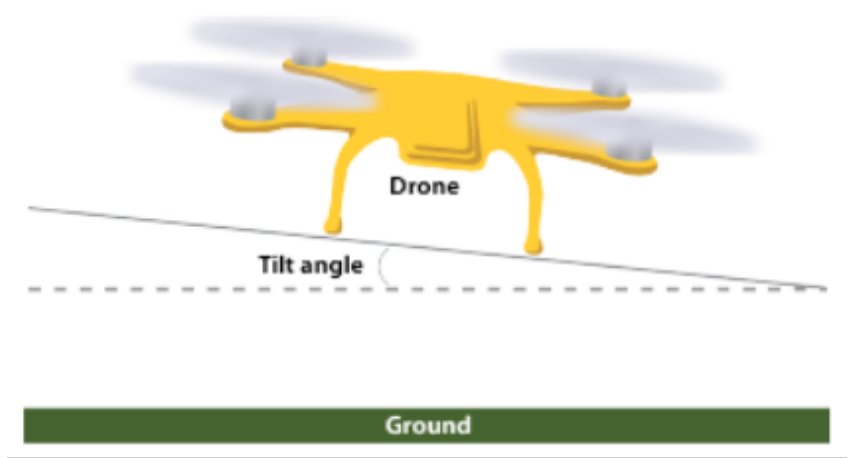
איור 5. אנטנה 1 קיבלה זרם במהלך סיבוב אחד של הרחפן סביב צירו



איור 4. אנטנה 0 קיבלה זרם במהלך סיבוב אחד של הרחפן סביב צירו



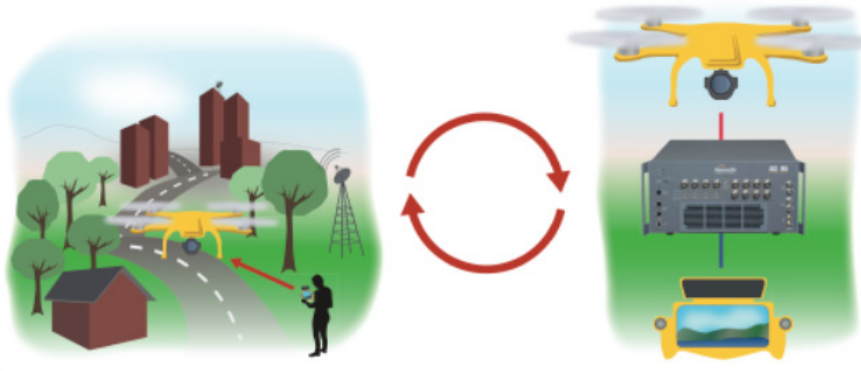
איור 7. קרני אנטנה של שלט-רחוק



איור 6. זווית הנטייה

### דפוס האנטנה

בנוסף לאתגרים שצוינו לעיל, האנטנות בשלט-רחוק יכולות גם הן להשפיע על החוזק הכללי של הקשר בין השלט-רחוק והרחפן. על אף שאנטנות הרחפן עשויות להיות כל-כיווניות, בדרך-כלל זהו אינו המצב כאשר מדובר בפקד רדיו, שבדרך-כלל משתמש באנטנות כיווניות, כפי שמוצג באיור להלן. הקרניים שלהן בעלות זווית של 30 עד 40 מעלות ועל כן הן רגישות ביותר לשינויים באוריינטציה של הפקד ולמיקום הרחפן. כאשר הרחפן והפקד אינם מצויים בקו ישר, אמינות קשר הרדיו פוחתת (ראו איור 7).

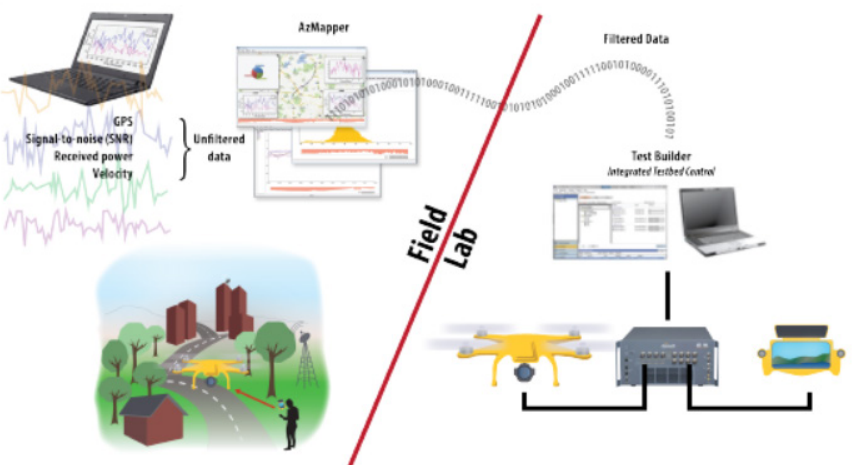


איור 8. שימוש באמולטור ערוץ כדי לשכפל תנאי שדה

על כן, התכנון, הפקד ותנועת הרחפן משפיעים כולם על אמינות קשר הרדיו החיוני. זאת, בשילוב עם השפעות אינהרנטיות וליקויים בסביבה האלחוטית, הופכים את קשר הרדיו בין הרחפן והשלט-רחוק לרגיש ביותר למגוון גורמים בעלי פוטנציאל לגרוע מהביצועים.

### כיצד ניתן לבדוק רחפנים באופן יעיל?

עד עתה, למדנו כי מספר גורמים עשויים לפגום בקשר שבין הרחפן והפקד: מאפייני האנטנות, הרחפן והשלט-רחוק, המיקום והאוריינטציה של אנטנות הרחפן, תנועת הרחפן, סביבה מרובת נתינים הגורמת לדעיכה, וחפצים העשויים לגרום לדעיכה (הצללה). לא ניתן לקיים בדיקה בשדה של השפעת מאפיינים בודדים על הביצוע. זאת, בשילוב עם אתגרים לוגיסטיים של



איור 9. תהליך השדה-למעבדה: בדיקת רחפנים במעבדה תוך שימוש בתנאי שדה מוקלטים

## שידור חוזר של טיסות מבחן: מבדיקות בשדה למעבדה

בדיקות נסיעה (או "טיסות מבחן") משמשות חברות רחפנים לשם פתרון תקלות, שיפור תוכנה וקביעת אמות מידה. בדיקות אלו הינן מסובכות וצורכות זמן רב, והתוצאות שלהן אינן ניתנות לחזרה. על כן, קשה להשוות סטים של טיסות, גם אם התרחשו באותו מקום בתנאים שנראים דומים. כל מספר שהוא של גורמים עשוי היה להשתנות - מידת וסוג ההפרעה, תנאי מזג-אוויר ורוח, גובה הרחפן, אוריינטציית הפקד, מהירות, מיקום הרחפן והשלט-רחוק - ובלתי אפשרי לשכפל את הבדיקות במדויק.

ניתן לפתור זאת על ידי שימוש ביכולת השדה-למעבדה של Azimuth, המאפשרת לשכפל תנאי שדה במעבדה על ידי הזנת נתונים מרדיו מודם על גבי הרחפן והפקד אל אמולטור ערוץ, כפי שמוצג באיור להלן (ראו איור 9 בעמוד הקודם).

דבר זה מאפשר לשכפל בדיקות שדה באופן מהיר, קל, יעיל ומדויק. הדבר מאפשר

בדיקות רחפנים בשדה (כגון עלויות, תקנות וכדומה) גורמים לכך שלא ניתן להסתמך רק על בדיקה בשדה. ישנו צורך חיוני בפתרונות שיוכלו לסייע בהעברת חלק מבדיקה זו למעבדה.

אמולטור ערוץ יכול לשמש ליצירה מחדש של אלמנטים שונים בסביבת הרחפן: ריבוי נתיבים, מהירות, עיכוב בהפצה, הזרם המתקבל בכל אנטנה (לסירוגין, אובדן הנתיב), רעש וגורמים אחרים. ניתן לשלוט באמולטור ערוץ, ועל כן ניתן לשלוט גם בסביבת הרדיו שהוא יוצר. על כן, ניתן לבדוק את ההשפעה של גורמים בודדים (ראו איור 8 בעמוד הקודם).

בנוסף לבדיקה עבור השפעות ספציפיות, ניתן גם לבדוק את ביצועי הרחפן עבור בדיקות פונקציונליות מסורתיות כגון קצב לעומת טווח (RvR) וקצב לעומת רעש (RvN), המתפרסות הרבה מעבר לתרחישים מציאותיים כגון ביצועי הרחפן כאשר הוא מתרחק מהפקד (RvR) או כאשר יחס האות-רעש (SNR) של האות פוחת (RvN).

לבדוק רחפנים בתנאי שדה מדויקים, וכן מאפשר לבדוק רחפנים תחת תנאי שדה שעברו שינוי על ידי דריסת פרמטרים או השפעות מסוימים - למשל, שימוש בשינוי זרם הנצפה בשדה אך בסביבה בעלת דעיכה מופחתת בשל ריבוי נתיבים.

### סיכום

בהערת יישום זו, כיסינו חלק מהגורמים המשפיעים על חוזק קשר הרדיו שבין הרחפן והפקד, והאתגרים שבבדיקת רחפנים בשדה. לאחר מכן דנו במספר פתרונות לבדיקת רחפנים במעבדה תוך שימוש באמולטור ערוץ ויכולות השדה-למעבדה של Azimuth.

**Florent Busnault הינו מהנדס יישומי שדה EMEA ב-AZIMUTH**  
**ANRITSU - מאז 2013. הוא מתמקד**  
**באתגרי ייצור רחפנים מאז 2014.**

**למידע נוסף בקרו באתר החברה.**