

סוגיות בניהול ההתרעות לנהגים: תכן למניעת טעויות קריטיות בנהיגה

אבי הראל
ארגולייט בע"מ

תקציר

מערכת התרעות בכלי רכב עשויה להסב את תשומת לב הנהג לסכנה, ולמנוע בדרך זו תאונות. אבל, מערכת ההתרעות עלולה גם להגדיל את הסיכון במצבים מסויימים: במצבים של חוסר התרעה לאחר שהנהג פיתח תלות בהתרעות, ובמצבים של עודף התרעות טורדניות, שגורמות להסחת דעת הנהג מהסכנה האמיתית. בתכנון מערכת התרעות צריך להתייחס אל השאלות הבאות: באילו מצבים צריכה המערכת להפיק התרעות, ומהם מאפייני ההתרעה שיבטיחו שתגובת הנהג תהלום את הסיכון. מאמר זה מציג ניתוח של אופני כשל של הנהג לאבחן מצבי סכנה על בסיס ההתרעות, ולהגיב נכונה, ומיידית. בהמשך, המאמר מציג עקרונות בסיסיים לתכנון התרעות אפקטיביות בכלי רכב.

א. מבוא

1. הגורם האנושי בתאונות

הסטטיסטיקה של תאונות בהן מעורב מפעיל אנושי היא שבכ-75% מהתאונות ייחסו את גורם התאונה לגורם האנושי. ב-80% מהתאונות, הגורם האנושי שזוהה כגורם עיקרי לתאונה היה קשיים של המפעיל בהפניית הקשב לנסיבות שגרמו לתאונה (Salmon et al., 2005).

סטטיסטיקה זו מלמדת עד כמה חשוב וכדאי להשקיע באמצעים שיסייעו לנהג לזהות נכונה את מצבי הסיכון, ולבחור את דרך הפעולה הנאותה שתאפשר לו להתמודד עם מצבים אלו.

2. פתרונות מדף

הטכנולוגיה מאפשרת כיום התקנה מערכות התרעה שונות ומגוונות בכלי רכב. בין ההתקנים נציין במיוחד את אלו שמספקים התרעה לגבי סיכוני הדרך הבאים:

- מכשול בכביש שמחייב בלימת חירום
- מרחק עצירה קצר מדי

- סטיה מנתיב
- סכנת התהפכות

התקנים אלו מאפשרים לנהג להיות מודע לסכנות השונות הכרוכות בנהיגה, ולהגיב בעוד מועד. מאידך גיסא, כמו בכל יישום טכנולוגי, גם היישום של התקני ההתרעה כרוך בסיכונים נלווים שהם ספציפיים ליישום. בנושא של התקני התרעה, הסיכונים העיקריים הם שהנהג לא יבחין במצב ההתרעה, או שיטעה בבחירת שיטת התגובה. סיכונים אלו עלולים להיות קריטיים בנהיגה.

3. הבטיחות של מערכות ההתרעה

במחקרים קודמים נמצא שמערכות התרעה עשויות לשפר את הבטיחות על ידי הקניית הרגלי נהיגה בטוחים. למשל, הנהגים בכלי רכב בהם מופעלת מערכת התרעה על מרחק עצירה קצר מדי, מגיבים להתרעה על ידי הגדלת מרחק העצירה, בהתאם לערכים התקניים (Ben-Avner et al., 2002).

בפועל, מערכות ההתרעה אינן מושלמות: לעתים, הן אינן מתריעות לגבי מצבים מסוכנים (טעויות מסוג I). בנוסף, לעתים הן מתריעות גם במצבים שאינם מחייבים תשומת לב של הנהג (טעויות מסוג II). החשש הוא שהסתמכות על מערכת התרעות שהיא בלתי מושלמת עלולה להיות מסוכנת אף יותר מאשר נהיגה ללא מערכת התרעה (Maltz and Shinar, 2004). לפיכך, קיים צורך לבחון את התועלת שבהתרעות הללו לעומת הסיכונים הכרוכים ביישומם לכלי הרכב. מאמר זה מנתח את הסיכונים הנלווים ליישום התרעות בכלי רכב, ומגדיר דרישות לצמצום הסיכונים הללו.

4. יישום הנדסת גורמי אנוש

מהנדסי מערכת נוטים לטעות לעתים בהבנת אופן התנהגות מפעילי המערכת והמשתמשים בה. במקרים רבים, המפעילים והמשתמשים במערכת אינם עומדים בציפיות של המפתחים, מכיוון שאינם מכירים את כוונות המפתחים, ואת פרטי תהליכי התפעול, וכן מכיוון שהתגובה שלהם לאירועי תפעול מבוססת על נסיון באירועים דומים, שאינם קשורים לתפעול המערכת הנדונה. בסקר גורמי אנוש בנהיגה נמצאו פערי ידע בנושאים קריטיים. למעשה תעשיית עזרי ההתרעה מסתמכת על מערכת הנחות בלתי מבוססות מחקרית, חלקן שגויות בעליל (Wahlberg, 2009).

הנדסת גורמי אנוש מאפשרת לשלב בתכן המערכת ידע שנרכש במחקרים רבים על התנהגות המפעילים והמשתמשים. המחקר על גורמי אנוש בתפעול מערכות מאפשר הבנה של אופני הכשל בנהיגה, הנובעים ממגבלות הנהג בתפיסה, בשיפוט, בקבלת החלטות ובביצוע. הבעיה היא שבפועל, הפרקטיקה המקובלת של ניתוח מערכת אינה מיישמת את הידע המחקרי בתחום גורמי אנוש. מאמר זה מבוסס על מתודולוגיה שפותחה במסגרת קבוצת העבודה לניהול סיכונים באילת"ם המיישמת את הידע המחקרי בתהליכי הגדרת דרישות לניתוח ולמניעה של טעויות שימוש (הראל, 2010).

5. שיטה

הדרך המוצעת לשיפור אפקטיביות מערכת ההתרעות היא בששה שלבים, על פי הגישה של הנדסת בטיחות (דוגמא: הראל, 2007):

1. איבחון אופני הכשל: מהם המצבים בהם מערכת ההתרעות אינה אפקטיבית, ובאילו תהליכים?
2. מודל המערכת ומרכיבי הכשל: תיאור של מצבי הכשל על בסיס תיאור של מודל המערכת ומרכיביה
3. מסגרת תאורטית - מודל הכשל: תיאורים מדעיות ועקרונות הנדסיים שעשויים לרמז על דרכי פתרון
4. ניתוח גורמי הכשל: תיאור גורמים שעשויים להסביר את נסיבות מצבי הכשל
5. טיפול מונע: הצעת דרכים למניעת מצבי כשל
6. התרעה לגבי איומים חריגים: ניתוח והצגת פתרון לאיומים אפשריים, כולל איומים בלתי צפויים.

6. מפת דרכים לישום גורמי אנוש במערכות התרעה

המתודולוגיה שהוצעה בקבוצת העבודה הנ"ל נבחנה בדרך של מחקר יישומי במסגרת מרכז גורדון בטכניון, בו הוגדרו אופני כשל בנהיגה, והוצעו כללים לתכן מערכות התרעה ולהערכתם. הדו"ח המסכם של מחקר זה כלל מפת דרכים להגדרת הדרישות ותהליכי הבדיקה של מערכות התרעה בכלי רכב (Weiler & Harel, 2011). מפת הדרכים התבססה על מודל ליניארי, וכללה חמישה מרכיבים:

1. אפיון הסיכונים של מערכת התרעות
2. תכן להפחתת הסיכונים
3. תהליכי בחינה ואימות
4. חקר תאונות
5. הפקת לקחים מארועים מסוכנים

מודל זה משמש גם כבסיס לדיון במאמר זה.

7. מטרת המאמר

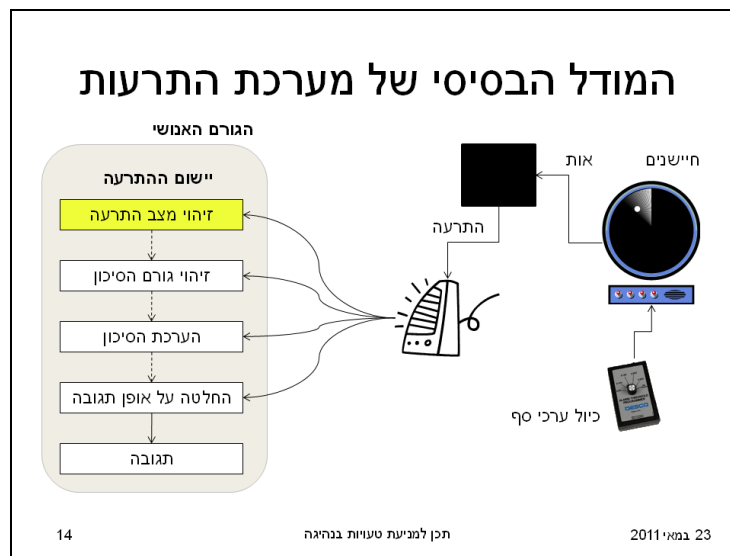
מאמר זה מדגים את המודל הליניארי, ומציג שיקולים בהגדרת דרישות ובהערכת השימושיות של התרעות בכלי רכב.

II. הסיכונים במערכות התרעה פשוטות

מערכת התרעה פשוטה זוהי מערכת הכוללת חיישן אחד שמייצר התרעה מסוג אחד, עבור סיכון מסוג מסויים. למשל, מערכת הכוללת חיישן יחיד המודד מרחק מצירה זוהי מערכת פשוטה.

8. המודל הבסיסי

המודל בעזרתו נתאר וננתח את הסיכונים מבוסס על המודל הבסיסי של מערכת התרעות, כמודגם בתרשים הבא:



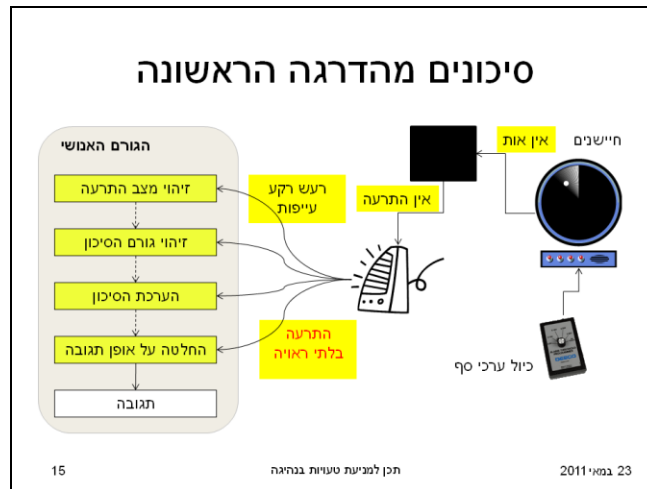
זהו מודל כללי של התרעות, שיכול לשמש לאפיון מערכות התרעה רבות ומגוונות. לדוגמא, מודל זה שימש לאפיון בעיית אי-ציות הציבור להתרעות במצבי חירום (הראל, 2007). על בסיס אפיון זה הוצעו ויושמו שינויים בשיטת ההתרעות לציבור בזמן מתקפת טילים (הראל, 2009).

9. סוגי סיכון

יש להבחין בין סיכונים פוטנציאליים לבין סיכונים מידיים. בהתאם, יש להבחין בין התרעות המיועדות לחזק התנהגות בטוחה, לבין התרעות המיועדות למנוע תאונה אקוטית. לדוגמא, אי שמירת מרחק זהו סיכון פוטנציאלי. התרעה על אי שמירת מרחק מצירה למעשה כמשוב לנהג, על מנת לחזק התנהגות של שמירה על מרחק בטוח. לעומת זאת, מכשול בכביש זהו סיכון מידי. התרעה על מכשול בכביש מיועדת אך ורק למנוע תאונה אקוטית.

10. סיכוני כשל מהדרגה הראשונה

סיכוני כשל מהדרגה הראשונה אלו הם סיכונים ישירים, הקשורים באחד ממרכיבי המודל הבסיסי. התרשים הבא מדגים חלק מהסיכונים הישירים:



גורמי הכשל מהדרגה הראשונה מתייחסים אל המצבים הבאים:

- המערכת אינה מפיקה אות
- המערכת אינה מייצרת התרעה
- הנהג אינו שומע את ההתרעה
- הנהג אינו מגיב כראוי
 - הנהג טועה בהערכת הסיכון
 - הנהג נכשל בביצוע

להלן פירוט גורמי הכשל הקשורים למצבים הללו.

מצב כשל: המערכת אינה מפיקה אות

סיבות אפשריות:

- תקלה בחיישן
- המערכת סגורה
- ערך סף מותאם לרגישות נמוכה
- המערכת מושבתת
- החלפת רכב (במשפחה, בחברה).

מצב כשל: המערכת אינה מייצרת התרעה

סיבות אפשריות:

- תקלה ברמקולים ...
- הרמקולים סגורים או מנותקים
- המערכת בעוצמת שמע נמוכה מדי

מצב כשל: הנהג אדיש להתרעה

סיבות אפשריות:

- רעש רקע
- עייפות
- עיסוק בתפקידים אחרים (ניווט, שיחה, טלפון)
- ההתרעה מזוהה עם גורם אחר ...

11. סיכוני כשל מהדרגה השניה

סיכוני כשל מהדרגה השניה אלו הם סיכונים של כשל של אמצעי הגנה בפני כשל מהדרגה הראשונה. למשל, אם כתגובה להתרעות טורדניות, הנהג החליש את עוצמת השמע, וכתוצאה מכך, בתנאים של רעש רקע, ברגע קריטי הוא לא הצליח לשמוע את ההתרעה.

ניתוח כשל מהדרגה השניה מחייב סטייה ממודל הפיתוח הליניארי. מאחר והסיכונים מהדרגה השניה הינם תלויי פתרון, לא ניתן לנתח אותם בשלב המקדמי. משמעות הדבר היא שהגדרת המערכת נעשית באיטרציות על שני השלבים הראשונים של המודל הליניארי.

III. הסיכונים במערכות מרובות התרעות

במערכות מרובות התרעות קיימת בעיה נוספת, והיא של התמצאות הנהג בסוגי ההתרעות, ובבחירת תגובה הולמת.

12. סיכונים מהדרגה הראשונה

מצבי הכשל השכיחים כוללים טעות בהערכת הסיכון וטעות בבחירת התגובה המתאימה לגורם הסיכון. להלן דוגמאות למצבי הכשל הללו:

מצב כשל: טעות בהערכת הסיכון

דוגמא: מערכת שמלמדת את הנהג לשמור על מרחק בלימה סביר של 1.5 שניות. מידי פעם, כשהנהג יורד מתחת לערך סף זה, המערכת מייצרת התרעה. הנהג מתרגל אל ההתרעות, והוא חש בהן מגינות עליו. הבעיה היא שסף העירנות של הנהג יורד. אם ההתרעה על מכשול דומה להתרעה על מרחק עצירה קטן מדי, הנהג עלול להגיב לאט מדי להתרעה.

מצב כשל: טעות בבצוע

דוגמא: מערכת שמתריעה על סטיה מנתיב. נניח שהנהג סטה מספר פעמים ימינה. בכל מקרה של סטיה הוא קיבל משוב, ותיקן את הטעות על ידי הטיה נגדית שמאלה. נניח שבהמשך, הנהג סטה שמאלה. אם ההתרעה במקרה זה דומה להתרעה במקרה של סטיה ימינה, הנהג עלול לטעות ובמקום לתקן ימינה, הוא עלול להגדיל את הסטיה שמאלה.

IV. עקרונות אבטחת בטיחות

13. מדדי בטיחות

את הבטיחות ניתן למדוד במונחים אובייקטיביים, ובמונחים סובייקטיביים. המונחים האובייקטיביים כוללים פגיעות בנפש וברכוש, תביעות ביטוח, וכיו"ב. המונחים הסובייקטיביים כוללים חווית בטיחות בטווח הקצר ולאורך זמן.

בפועל, הערכת הבטיחות של מערכת נקבעת ע"י המדד שנבחר לצורך ההערכה. להלן דוגמאות:

א. מערכת שמשמשת להדגמות לצורך קידום מכירות. במערכת כזו כמות ההתרעות היא מרובה, מכיוון שמטרת ההדגמה היא להרשים את הלקוח לגבי קיום תכונת ההתרעה. הקריטריון הנבחר הוא חווית בטיחות בטווח הקצר. נהג שיתקין ברכבו מערכת מרובת התרעות לא יוכל לעמוד בעומס המנטאלי שלהן, ותוך זמן קצר יבטל את פונקציית ההתרעה.

ב. מערכת שמלמדת את הנהג לשמור על מרחק בלימה סביר של 1.5 שניות. מידי פעם, כשהנהג יורד מתחת לערך סף זה, המערכת מייצרת התרעה. הנהג מתרגל אל ההתרעות, והוא פועל על בסיס התחושה שהן מגינות עליו. הקריטריון הישום הוא חווית בטיחות לאורך זמן. הבעיה היא שסף העירנות של הנהג יורד, ובמצבי חירום שאינם מוגנים על ידי המערכת, הוא עלול להגיב לאט מדי.

הקריטריון להצלחת מערכת ההתרעות לצורך מאמר זה הוא שיפור הבטיחות, במדדים של פגיעות בגוף וברכוש. חשוב להדגיש שקריטריון זה מגדיר את הפתרון האופטימלי באופן שונה מקריטריונים של חווית בטיחות.

14. גירסת גורמי אנוש לחוק מרפי

חוק מרפי בהנדסת מערכות מסביר שכשל מערכתי הוא תוצאה של תכן לקוי, שאת מלוא משמעותו מבינים בדרך כלל כשכבר מאוחר מדי. בניסוח אחר, החוק אומר שאם התכן אינו לוקה בחשבון את הכשל האפשרי, יש לצפות לכך שבמוקדם או במאוחר כשל זה יתממש.

גירסת גורמי אנוש לחוק מרפי מתייחסת אל הגורם האנושי בתפעול מערכות. על פי גירסא זו, אם התכן מאפשר למשתמש או למפעיל להכשל, יש לצפות לכך שבמוקדם או במאוחר הם אכן ייכשלו.

בהקשר של התרעות בנהיגה ניתן לנסח שלשה חוקים בסיסיים:

- **תלות הנהג בהתרעה**

אם הנהג מצפה מהמערכת להתריע, והיא אינה מתריעה, יש לצפות לכך שהנהג לא יבחין במצב הסיכון

- **אפקט ההתרעות הטורדניות**

אם הנהג מוצף בהתרעות שאינן רלבנטיות לתפקיד הנהיגה, יש לצפות לכך שהנהג לא יזהה את מצב הסיכון לכשתגיע התרעה לגבי סיכון קריטי.

- **תגובה אינרטיה**

אם הנהג התרגל להגיב באופן מסויים להתרעה על סיכון מסויים, ואם ההתרעה על סיכון חדש דומה להתרעה אליה הנהג מורגל להגיב, יש לצפות לכך שהנהג יגיב להתרעה על הסיכון החדש על פי ההרגל, במקום ע"פ הסיכון.

בהתאם לכך, האתגר בתכנון התרעות בנהיגה הוא לספק התרעה לכל מצבי הסיכון, אך ורק למצבי סיכון, באופן שיעורר אצל הנהג תגובה הולמת למצב הסיכון.

15. חיזוק התנהגות בשיטת השוט והגזר

נניח שבתכן המערכת מוסיפים אופציה לשיפור הבטיחות. כיצד מביאים את מפעיל המערכת להשתמש באופציה זו? לכאורה, אחת הדרכים היא לחייב את המפעיל לבחור באופציה זו. אבל, אם מחייבים את המפעיל לבחור באופציה, זוהי למעשה כבר לא אופציה. במקרה זה, האופציה ה"נבחרת" היא למעשה תכונה של המערכת. לפיכך, לצורך הדיון, נניח שאין אפשרות מעשית לחייב את המפעיל לבחור באופציה זו. כתוצאה מכך, בהתאם לגירסת גורמי אנוש לחוק מרפי, יש להניח שלעתים, יתכן שהמפעיל יבחר באופציה החליפית, הבלתי בטוחה, בין ביודעין ובין בשוגג, ויסכן בכך הן את עצמו והן את המערכת.

על פי שיטת השוט והגזר, לא ניתן להסתפק בהוספת האופציה לשיפור הבטיחות (הגזר): על מנת להבטיח שהמפעיל יבחר באופציה הבטוחה, צריך להקשות עליו בתהליך הבחירה של החלופות הבלתי בטוחות (השוט). המימוש של עקרון זה יכול להיות, למשל, על ידי החזרה לברירת המחדל הבטוחה בכל הפעלה של המערכת. לדוגמא, בהקשר של התרעות בנהיגה, אם מאפשרים לנהג לבחור סף ההתרעות שהוא חורג מהסף שהוגדר בתכן כבטוח, אז הדרך לשנות את הסף צריכה לחייב מאמץ מיוחד. למשל, על ידי החזרה לברירת המחדל בכל התנעה של הרכב.

16. עקרון מיגנוט הקשב לגורם הסיכון

על פי עקרון זה, ההתרעה צריכה לגרום לכך שבכל מצב, ובעיקר כאשר הנהג עסוק בנושא אחר, תשומת ליבו תופנה אל גורם הסיכון.

יישום עקרון זה לנהיגה מחייב שההתרעה לא תתבסס על ערוץ הראיה. זאת, מכיוון שערוץ זה משועבד למשימות אחרות הקשורות להתמצאות ולבטיחות בנהיגה, ואינו פנוי תמיד להבחין בהתרעה. ערוץ הקשב המתאים יכול להיות הערוץ הקולי, שהקלט שלו הוא מרחבי. זאת, בתנאי שערוץ זה פנוי ממידע אחר, לגבי סיכונים אחרים או לגבי כל נושא אחר (Geiser, 1990).

ערוץ קשב נוסף יכול להיות חוש המישוש, למשל, על ידי רעידות בהגה או בדוושת הדלק, בתנאי שמובטח מגע עם בקר הנהיגה במצבי הסיכון. למשל, התרעה בעזרת דוושת הגז היא אפקטיבית אך ורק אם מובטח שהנהג לוחץ על הדוושה בזמן האצה.

17. עקרון המובחנות של התרעות

לאחר התנסות מסויימת בהתרעה, הנהג לומד להגיב לה בדרך מסויימת. תגובת הנהג להתרעות מותנית בהצלחת התגובה להתרעות דומות, ועם הנסיון היא הופכת להיות אוטומטית. במקרים בהם נדרשת תגובה שונה של הנהג, ההתרעה צריכה להיות שונה באופן ברור ומובחן היטב, אחרת הנהג עלול להגיב על פי ההרגל.

18. עקרון האזעקה

אם קול ההתרעה לגבי מצב סיכון אקוטי דומה לקולות שמשמשים במצבים אחרים (למשל, בתפעול ציוד עזר), קיים חשש לכך שהנהג ייטעה ולא יבחין במצב הסיכון.

ההתרעה צריכה להיות כזו שתמשוך קשב של המשתמש ברמה התואמת את הסיכון. בהקשר של נהיגה, התרעה קולית צריכה להיות חדה, עוצמתית, טונאלית וצורמת ככל שרמת הסיכון גבוהה יותר (Harel, 2006). דוגמא של תקן שגוי בהקשר זה היא התקן IEC 60601-1-8 (Sanderson, 2006), שמחייב התרעות במלודיות שאינן תואמות את עקרון האזעקה (לשמיעת המלודיות - <http://www.anaes.med.usyd.edu.au/alarms/>).

19. עקרון הקצאת התבניות הקוליות

נניח שיצרן מסויים בחר בתבנית קולית מסויימת להתרעה לגבי סיכון מסויים, למשל, לגבי מרחק בלימה, ואילו יצרן אחר בחר בתבנית קולית דומה להתרעה לגבי סיכון אחר, למשל, לגבי מכשול בכביש. במקרה כזה יתכן שהנהג יטעה ויבחר בתגובה שאינה תואמת את מצב הסיכון. למשל, כפי שהודגם לעיל, אם הנהג התרגל להגיב להתרעת מרחק

בלימה על ידי הרפיה מדוושית הדלק, הוא עלול להגיב באופן זה גם במקרה של מכשול בכביש, למרות שבמצב זה נדרשת תגובה חריפה יותר, דהיינו, לחיצה על דוושת הבלמים. בעייה זו עלולה לקרות במספר מקרים:

א. כאשר שתי המערכות מותקנות על אותו כלי הרכב

ב. כאשר הנהג שרגיל לנהוג ברכב המספק התרעה על מרחק בלימה מחליף לרכב המספק התרעה על מכשול בכביש.

עקרון הקצאת התבניות הקוליות אומר שלכל מצב סיכון יש להגדיר תבנית קולית שמאפיינת את התגובה המומלצת. לצורך היישום של עקרון זה נדרש תיאום בין כל הייצרנים של מערכות התרעה, ולכן יש צורך בתקינה של התבניות הקוליות, באופן דומה לזו שיושמה בתקן IEC 60601-1-8.

20. עקרון הצמצום של התרעות מתחרות

באירועים מסוכנים ייתכן שהמערכת תספק מספר התרעות בו זמנית. למשל, במקרה של עצירת פתע של הרכב לפנים, ייתכן שהמערכת מספקת בו זמנית גם התרעה על מרחק בלימה קצר מדי וגם התרעה על מכשול בכביש. ריבוי ההתרעות עלול לגרום לבלבול רגעי אצל הנהג, וכתוצאה מכך להשהיה או להחלטה שגויה. עקרון הצמצום אומר שהמערכת צריכה לסווג את ההתרעות על פי חומרה, ולהעביר רק התרעה אחת עבור כל אופנות חושית. בדוגמא לעיל, נניח שהתכן הוא כזה שההתרעות לגבי מרחק בלימה קצר ולגבי מכשול בכביש מבוססות על ערוץ השמע. בהנחה זו, במקרה של מופע של שתי ההתרעות במקביל, המערכת צריכה להפיק התרעה אך ורק לגבי המכשול בכביש, שהסיכון שלו הוא אקוטי, ולא להתריע על מרחק הבלימה.

בהתאם לעקרון מיגנוט הקשב שהוצג לעיל, אין להטיל את האחריות לתפיסת מצב הסיכון על אופנות החישה הויזואלית. במקום זאת, יש לבסס את התפיסה על חוש השמיעה ועל חוש המגע.

התפיסה הפרופריוספטיבית מוכרת כיעילה ביותר (Schuman, 1994), ולכן שיטת ההתרעה היעילה ביותר היא על ידי הפעלת כח על איבר הגוף שנדרש להגיב. דוגמא ליעילות התפיסה הפרופריוספטיבית היא ההגה כח שמשמש לניהוג מטוסים או טילים מונחים. דוגמאות ליישום שיטה זו לנהיגה בכלי רכב הן:

א. התרעת מרחק עצירה על ידי הגדלת התנגדות דוושת התאוצה

ב. התרעת סטייה ימינה מנתיב הנסיעה על ידי הפעלת כח על ההגה לכיוון שמאל

ג. התרעת סטייה שמאלה מנתיב הנסיעה על ידי הפעלת כח על ההגה לכיוון ימין.

בעדיפות שניה, ניתן לבסס את ההתרעה על ערוץ השמע. זאת, במצב בו לא ניתן להפעיל כח על האיבר הנדרש לתגובה, או כאשר המחיר של פתרון כזה הוא גבוה מדי.

התחרות בין משאבי תפיסה קיימת בעיקר כאשר מדובר בערוץ חישה משותף. במקרה של חישה באופנות שונה, התחרות בין משאבי התפיסה מצטממת משמעותית (Gopher, 1980; Wickens, 1992). לפיכך, עקרון הצמצום מתייחס בעיקר להתרעות המתחרות על אותה אופנות תפיסה. אם, למשל, התכן הוא כזה שההתרעה עבור מרחק בלימה קצר היא על ידי הגדלת ההתנגדות של דוושת הדלק, אז אפשר ואף רצוי לספק התרעה זו במקביל להתרעה הקולית על מכשול בכביש.

21. עקרון החסינות לתקלות

לאחר שהנהג התרגל להתרעה מסוימת, הוא מסתמך עליה כאמצעי עיקרי לזיהוי מצבי סיכון יותר, תוך פינוי משאבי קשב לתפקידים משניים (כמו, תפקידי התמצאות וניווט). במקרה של תקלה במערכת, אם המערכת אינה מספקת התרעה לגבי התקלה, הנהג עלול להכשל, ולא להבחין במצבי סיכון. עקרון החסינות לתקלות אומר שהמערכת צריכה להתריע לנהג על כל תקלה שמונעת איבחון של מצבי סיכון. עקרון זה חשוב במיוחד לאור עקרון הצמצום לעיל, על פיו במצבי תקלה אין להחליף את אופנות ההתרעה. למשל, אם ההתרעה שמחייבת תגובה מסוימת היא קולית, במצב של תקלה במערכת השמע, אין להחליף אותה בהתרעה ויזואלית.

המשמעות לגבי התרעות בנהיגה היא שהמערכת צריכה לבדוק באופן שוטף ולספק התרעה לגבי תקלה בחיישנים, במערכת השמע וכיו"ב.

מקורות

הראל, א., 2007. לקחים מהפעלת הצופרים במלחמת לבנון השניה. הכנס הלאומי להנדסת בטיחות, אשדוד.
(<http://ergolight-sw.com/CHI/Company/Articles/UsingSirensInLebanonWar2.doc>)

הראל, א., 2009. גורמי אנוש בהתרעות לציבור במצבי חירום: ישום לקחי מלחמת לבנון השניה - כינוס האגודה הישראלית לגורמי אנוש וארגונומיה)
(<http://ergolight-sw.com/CHI/Company/Articles/WarAlarms2009a.doc>)

הראל, א., 2010. ניהול סיכוני תפעול: ק"ע ניהול סיכונים, אילט"ם)
(<http://ergolight-sw.com/CHI/Company/Articles/Operational-Risk-Management.doc>)

Ben-Yaacov, A., Maltz, M. and Shinar, D., 2002. Effects of an In-Vehicle Collision Avoidance Warning System on Short- and Long-Term Driving Performance. *Human Factors* 44 no. 2

Bernstein, A.S., 1998, The end of false alarms?, *NFPA Journal*, Jan./Feb.

- Geiser, G., 1990, *Mensch-Maschine-Kommunikation* — München, Wien: Oldenbourg
- Gopher, D., 1980, On the Training of Time Sharing Skills: An Attention Viewpoint — *Proceedings of the Human Factors Society, 24th Annual Meeting*, pp. 259-263
- Harel, A., 2006, Alarm Reliability: What If an Alarm Goes Off and No One Hears It? *User Experience Magazine: Volume 5, Issue 3*
- Harel, A., 2006A - Using Sound for Alerting: Lessons from the War with Hezbollah. *User Experience Magazine*, Vol 5., Issue 3. Postscript
- Kitteringham, G., 2007, Nuisance alarms, *NFPA Journal*, Mar./Apr. 2007
- Maltz, M. and Shinar, D., 2004. Imperfect in-vehicle collision avoidance warning systems can aid distracted drivers. *Human Factors*, 22.
- Salmon, P. M., Regan, M. A., Johnston, I. R., 2005, Human Error and Road Transport: Phase One - Literature Review, Monash University Accident Research Centre, Clayton Vic Australia, pp. 1-135. (<http://www.monash.edu.au/muarc/reports/muarc256.pdf>)
- Sanderson, P., 2006, Auditory displays in healthcare, *User Experience Magazine: Volume 5, Issue 3*
- Schumann, J., 1994, On the use of discrete proprioceptive-tactile warning signals during manual control — *Internationale Hochschulschriften* — Waxmann Verlag GmbH, Münster/New York
- Smith, A. F., Mort, M., Goodwin D. and Pope, C., 2003, Making monitoring 'work': human-machine interaction and patient safety in anaesthesia, *Anaesthesia* 58 (11), 1070–1078.
- Wahlberg, A., 2009, *Driver Behaviour and Accident Research Methodology: Unresolved Problems*. Ashgate.
- Weiler, M. & Harel, A., 2011. Managing the Risks of Use Errors: The ITS Warning Systems Case Study. The 6th INCOSE-IL Conference, Herzlia, Israel (<http://ergolight-sw.com/CHI/Company/Articles/ITS-alarms-Apr2011.doc>).
- Wickens, C.D., 1992, *Engineering Psychology*, 2nd Ed. Harper Collins.