

מבוא

The role of consciously timed movements in "shaping and improving auditory timing" שחוקר את התפקיד של תנועות מתוזמנות שעושים באופן מודע בעיצוב ושיפור תזמון שמיעתי. במחקר השוו תזמון של גירויים שמיעתיים בלבד, תנועות יד בלבד, ושילוב של שניהם. כלומר, בדקו כיצד אנשים תופסים את משך זמן התנועות שלהם בהשוואה לתפיסת זמן של צלילים, וכיצד שילוב של שניהם משפיע על דיוק תפיסת הזמן. הם השתמשו במטלת תזמון בה נבדקים העריכו משכי זמן של תנועות זרוע, צלילים, או שניהם ביחד. הנבדקים היו צריכים להעריך את משך הזמן על ידי לחיצה ושחרור כפתור. משכי הזמן שנבדקו היו 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 ו-4000 מילישניות. מתוצאות המאמר עלה שתזמון משולב של תנועה ושמיעה היה מדויק יותר מכל אחד בנפרד. אך לא הגיע לאופטימליות מוחלטת בהשוואה להשערתם. תוצאה נוספת שהתקבלה היא שנמצא מתאם חיובי בין מרחק התנועה לבין משך הזמן המשוער.

בפרויקט בחרנו לבחון שאלת המשך בעקבות ניסוי זה, על ידי שימוש באותו מאגר נתונים. בחנו את השאלה כיצד משפיע גורמי הפעולה מוטורית על התפיסה האישית של תזמון שמיעתי? לשם כך ערכנו השוואה בין גורמים שונים של הפעולה המוטורית כמו מרחק התנועה, הכוח שהופעל, הזמן שלקח להשלים את התנועה, לבין עמודה המייצגת כמה ההערכה התפיסתית של הנבדקים לתזמון השמיעתי הייתה קרובה לצליל שהושמע (error). השגיאה חושבה כהפרש בין משך הזמן שהמשתתפים העריכו למשך הזמן האמיתי שהושמע הצליל. ערכנו השוואות אלו עבור 3 סוגי המבחנים: תנועה לבד, שמיעה לבד, ושילוב של שניהם. ענין אותנו לחקור את הדאטה הזה משום שהתוצאות עשויות להיות רלוונטיות להבנת הפרעות נוירולוגיות הקשורות לליקויים בתפיסת זמן.

שיטות

מערך הנתונים כולל נתונים על 20 נבדקים. שכל נבדק ביצע 3 סוגי מבחנים, ולכל מבחן היו חזרות מרובות. עבור כל נבדק ישנם נתונים לפי 9 תכונות, עבור כל מבחן בניסוי. כל נבדק ביצע 205 מבחנים. בעמודה הראשונה יש את מספר הנבדק. בעמודה השנייה מצוין איזה סוג מבחן הנבדק ביצע (מבחן אודיטורי, מוטורי או משולב). בעמודה השלישית מצוין משך זמן הניסוי. בעמודה הרביעית, זמן התגובה של הנבדק. העמודה החמישית מציגה את מרחק התנועה. השישית מציגה את כוח התנועה שהופעל. העמודה השביעית הזמן שלקח להשלים את התנועה. העמודה השמינית (error) המספר מייצג כמה ההערכה של הנבדקים, בנוגע לתזמון השמיעתי, הייתה קרובה לתיזמון השמיעתי שנמדד. העמודה האחרונה (abserror) מציגה את ההבדל, בערך מוחלט, בין התפיסה האישית של התזמון השמיעתי בתחילת הניסוי לבין סופו.

בקישור לגיט המצורף לעבודה זו ניתן למצוא, קובץ README המכיל לינק לאתר ממנו לקחנו את הדאטה, הספריות הנחוצות לקוד ומידע נוסף על הדאטה. מצורף גם הדאטה עצמו. קובץ TOML עם הוראות להרצת הקוד, ודו"ח מסכם זה. ו 3 קבצי קוד שארחיב עליהם כאן. נפרט על הקוד שבנינו על מנת לנתח את הנתונים ולענות על שאלת המחקר, כמו כן על ההחלטות בכתיבתו.

הקובץ globals.py מכיל קוד שמגדיר משתנים קבועים כללים בשביל הניתוח נתונים ויצירת הגרפים.

DATA_PATH – מראה את הנתבי לקובץ הנתונים המרכזי.

VAR_TO_PRINT – מילון שממפה שמות משתנים בקובץ הנתונים לשמות קריאים יותר לשימוש בגרפים.

MOVEMENT_COLS – רשימה של עמודות שמתייחסות לפרמטרים של תנועה (מרחק תנועה, כוח, זמן להשלמת התנועה).

ERROR_COLS – רשימה של עמודות שמתייחסות למדד השגיאה.

NUMERIC_COLS – רשימה של כל העמודות שמכילות נתונים מספריים.

OBJECT_COLS – רשימה של עמודות עם נתונים קטגוריים.

TRIALTYPE_COLS – מציין את העמודה שמייצגת את סוג הניסוי.

REQUIRED_COLS – רשימה של כל העמודות החיוניות עבור הניתוח, הכוללת את כל העמודות המספריות והקטגוריות.

הקובץ Analysis.py הינה מחלקה המנתחת קשרים ויוצרת גרפים בין גורמי התנועה לבין error. ישנה פונקציה לאתחול המחלקה שמקבלת את הדאטה.

באנו 5 ספריות, את ספריית pandas שתשמש לעבודה עם מערך נתונים, את ספריית seaborn ליצירת גרפים ו- matplotlib המשמשת לשליטה בבפרטי הגרפים. עשינו שימוש בספריות numpy scipy.stats לצורך חישובים סטטיסטיים. עשינו שימוש בספריות מוכרות כדי להקטין את הסיכוי לשגיאות. לאחר מכן יצרנו מילון שמגדיר איזה שם יוצג בגרפים עבור כל משתנה מהדאטה. הפונקציה "create_plots" מייצרת 3 גרפים המראים את היחס בין גורמי הפעולה המוטורית לerror, עבור כל מבחן. גרף פיזור עם קווי מגמה לכל סוג ניסוי המציג את הקשר בין המשתנים. גרף Boxplot להשוואת של השגיאות בין תנאי הניסוי, וגרף היסטוגרמה של תנועה לפי סוג ניסוי.

הפונקציה "get_correlatio" מחשבת מתאם פירסון בין המשתנים.

הפונקציה "analyze_relationships" בעלת שתי תפקידים, היא מבצעת ניתוח נתונים למציאת קשר בין גורמי הפעולה המוטורית קוראת לפונקציה "create_plots" כדי לייצר את הגרפים המתאימים. בנוסף היא מחשבת קורלציות ושומרת במילון את התוצאות שבהם הקשר בין המשתנים משמעותי כלומר כאשר $p\text{-value} < 0.05$. לשם כך הגדרנו את הרשימות של הגורמים אותם רצינו לבדוק ביחס למדד ה error. בחרנו לחלק את ניתוח הנתונים ויצרת הגרפים לשתי פונקציות, "analyze_relationships" הפונקציה מחשבת קורלציה בין משתנים וקוראת ל"create_plots" ליצור הגרפים. בחרנו לבצע את החלוקה הזו שיהיה קל לשנות את המראה וסוג הגרפים, מבלי להתערב ואולי לפגוע בחלק של ניתוח הנתונים.

הפונקציה "analyze_response_time_impact" מבצעת ניתוח נתונים רק עבור הקשרים שיצאו מובהקים מבחינת מתאם פירסון שנמדד בפונקציה הקודמת. ומייצרת גרף פיזור בהתאם לזמן תגובה של הנבדק.

הקובץ data_preprocessing.py הינו מחלקה שמטפלת בנתונים מתוך קובץ הדאטה. היא מוודאה כי הקובץ תקין. יצרנו פונקציה "no_missing_columns" הבודקת את תקינות הנתונים. היא בודקת שכל העמודות של הדאטה שבהם נשתמש קיימות. הגדרנו רשימה של עמודות שחייבות להופיע בקובץ הדאטה, ואם חסר עמודה מחזירה false.

הפונקציה "no_data_mismatches" מוודא כי בעמודות אלו יש רק ערך מספרי. הפונקציה עוברת בין העמודות ומנסה להמיר כל עמדה ל float. אם כל העמודות עברו המרה מחזירה הפונקציה True, ואם יש בעמדה ערכים לא מספריים כמו טקסט, ההמרה תיכשל והפונקציה תחזיר False.

הפונקציה "no_missing_values" בודקת אם יש בעמודה מסוימת מעל 30% נתונים חסרים. הפונקציה עוברת על עמודות המוגדרות, מחשבת כמה ערכים חסרים יש בכל עמודה, ואם על 30% מהשורות ריקות בעמודה מסוימת הפונקציה תחזיר False, ואחרת True.

הפונקציה "is_valid_df" שבודקת האם לכל הנתונים שאנחנו בודקים יש עמודות מתאימות בcsv, ומחזירה true אם כל העמודות נמצאות ואם לא false.

הפונקציה "clean_data" מנקה נתונים. תחילה יוצרת עותק של הנתונים המקורים לצורך גיבוי. לאחר מכן הפונקציה ממלא ערכים חסרים באמצעות החציון של אותו עמודה. בחלק השני של הפונקציה יש חישוב של הרבעונים על מנת להוריד ערכי קיצון שמחוץ לטווח $IQR \pm 1.5$. ולבסוף מציג כמה נתונים הוסרו. בחרנו לרכז לפונקציה אחת את שתי המשימות האלו משום שכך ניתן לעקוב אחרי ניקוי הנתונים ולוודא שהם נעשים.

הקובץ האחרון main.py הינו הקוד המרכזי. הוא מביא את הנתונים אחרי עברו בתקית קוד של analysis ומריץ את הקבצים ביחד עם תקית הקוד globals. הפונקציה "main" מוודאה שהקובץ דאטה קיים ובפורמט המתאים של (csv) וטוענת את הנתונים. ומשתמשת בשאר הפונקציות על מנת שיתבצע הניקוי, ניתוח הקשרים, והצגת התוצאות בגרפים.

בחלק האחרון של הקוד יש טיפול בשגיאות, על מנת לספק הודעות שגיאה ברורות למקרה הצורך. עשינו שימוש בבלוק של try-except כדי לזהות סוגים שונים של שגיאות, ובכך למנוע מהקוד לקרוס במקרה של בעיה.

except FileNotFoundError שגיאה זו מתרחשת כשהקובץ דאטה המצוין בנתיב לא קיים, ויודפס הודעת שגיאה בהתאם.

except pd.errors.EmptyDataError שגיאה זו קורת אם הקובץ נמצא אבל ריק, כלומר שהקובץ חסר נתונים כלל תעלה הודעת שגיאה מתאימה.

except pd.errors.ParserError שגיאה זו קורת אם ספריית pandas לא מצליחה לקרוא את הקובץ דאטה. שגיאה זו יכולה להתרחש אם הנתונים לא תקינים, למשל מחרוזת במקום בו אמור להיות ערך מספרי. כך גם אם יש בעיה בסידור העמודות. בהתאם יעלה הודעת שגיאה.

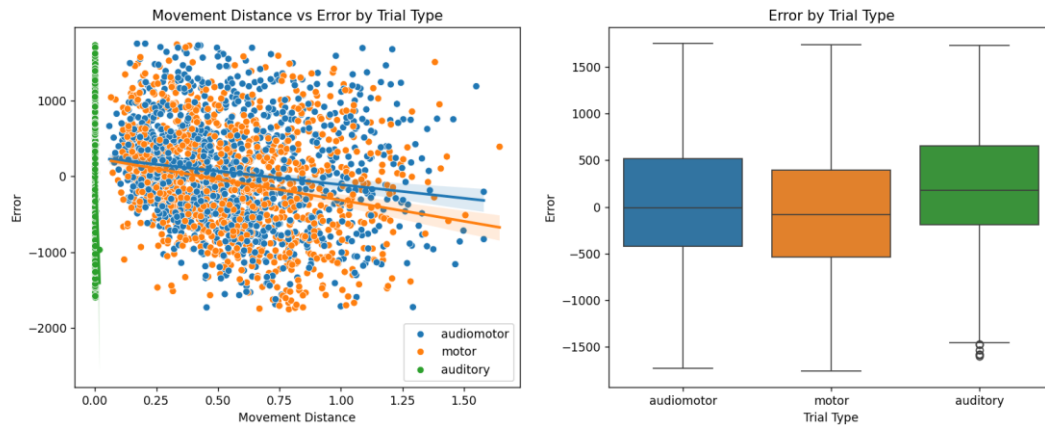
except ValueError as ve שגיאה זו מתרחשת כאשר יש בעיה בערכים של הדאטה. למשל אם יש טקסט במקום ערך מספרי. ויודפס הודעת שגיאה מתאימה.

except Exception as e מזהה שגיאות כלליות, כמו אם בעיה בחיבור לרשת. ותחזיר הודעת שגיאה כללית כי נמצא שגיאה מסוימת. בחרנו להוסיף בלוק זה של try-except משום שכך הקוד יציב ועמיד יותר בפני תקלות. במקום שהקוד יקרוס אם יש תקלה, יעלה הודעת שגיאה ברורה ומתאימה לבעיה המסבירה מה התקלה, ותקל על המשתמש להבין את הבעיה.

חילקנו את הקוד לפונקציות שכל אחת מתמקדת במשימה מרכזית אחת משום שכך ניתן לעקוב אחרי הקוד ולספק קריאה מובנת, וגם אם יש תקלה ניתן במקרה הצורך לערוך רק פונקציה אחת. כמו כן, נוכל להשתמש בפונקציות שבנינו בקודים אחרים. אם הכול היה כתוב בתור בלוק אחד זה היה מקשה על ההבנה מה כל שלב עושה, וכתוצאה היה מקשה עלינו במהלך כתיבת הקוד אם היינו צריכים לתקן משהו. כך יצרנו מבנה קוד מודולרי וברור לקריאה המטפל בכל שלב בנפרד, דבר המאפשר הוספת פונקציות ושינויים אם ידרש מבלי לשנות את הבסיס הקיים. לכן בחרנו לכתוב את הקוד באופן זה.

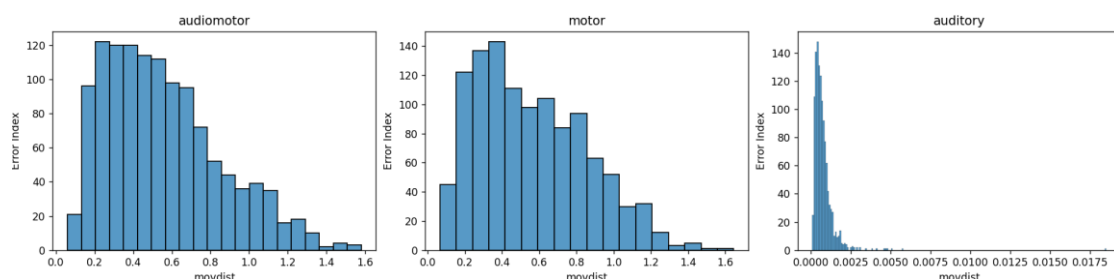
תוצאות

בחלק זה נציג את הגרפים שהקוד מייצר, נסביר עליהם תוך התמקדות בגרפים העונים על שאלת המחקר שלנו. הגרפים הבאים מציגים את הקשר בין גורמי התנועה לerror שכאמור חושב כהפרש בין משך הזמן שהמשתתפים העריכו למשך הזמן האמיתי שהושמע הצליל. כך ש error חיובי מראה כי הנבדק העריך למשך זמן ארוך יותר את הצליל מאשר למה שהיה בפועל. error שלילי מראה כי הנבדק העריך למשך זמן קצר יותר את הצליל מאשר למה שהיה בפועל. Error ששווה לאפס מראה שהמשתתף דיוק לחלוטין במשך הזמן. נציין כי בחרנו להראות את הגרפים של המבחן השמיעתי בלבד בתור מדד יחסי להשוואת אילו את שאר התוצאות, למרות שהוא לא כלל תנועה כך שהוא לא מספק הרבה מידע ביחס לשאלת המחקר שלנו. וגם על מנת להראות כי הניתוח נתונים שלנו הוביל לאותם תוצאות של החוקרים, כי המבחן המשולב הניב את הערכות המדויקות ביותר ביחס לכל שלושת המבחנים.

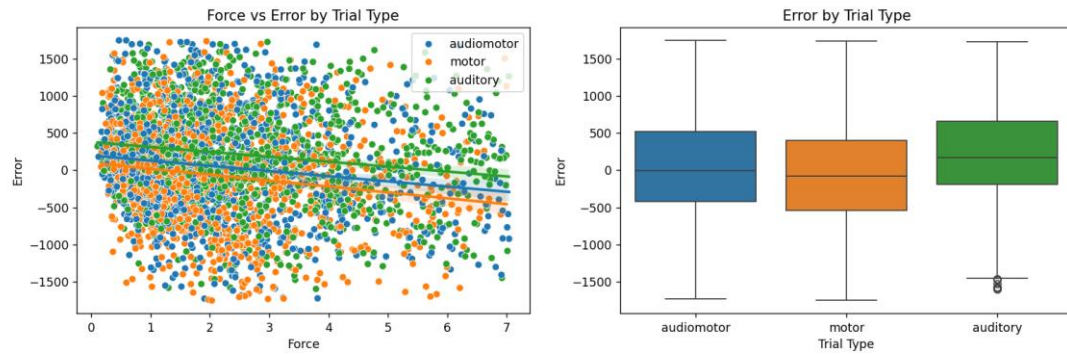


הגרף השמאלי מציג את הקשר בין מרחק התנועה לבין ה error שנמדד, עבור 3 סוגי מבחנים. הצבעים מייצגים את 3 סוגי המבחנים. כחול – (audiomotor) מבחן ששילב תנועה ושמיעה. כתום – (motor) מבחן של תנועה בלבד. והגרף הירוק – (auditory) מבחן של שמיעה בלבד. ציר ה X- מציג את מרחק התנועה. ציר ה Y- מציג את השגיאה בהערכת הזמן. אתייחס לקווי הרגרסיה עבור כל סוג מבחן. מהקו הכתום ניתן לראות מתאם חיובי, שכל שמרחק התנועה גדול יותר, נראה שהשגיאה קטנה יותר (מתקרבת ל-0). כלומר, כאשר התנועות גדולות יותר (יותר מרחק לעבור) הדיוק בהערכת הזמן עולה. עבור המבחן השמיעתי בלבד, המשתתפים לא ביצעו תנועה לכן אין ערכים למרחק התנועה. קו הרגרסיה עבור המבחן המשולב (הכחול) מראה שכל שכל מרחק התנועה גדל השגיאה קטנה, כלומר הדיוק עלה. עוד מעניין לציין שקו רגרסיה זה מראה תוצאות טובות יותר של דיוק, ביחס למבחן התנועתי בלבד. כך שהממצא שעולה מגרף זה תומך גם במסקנה של המחקר ששילוב בין שמיעה לתנועה מעניק את הערכת זמן הטובה ביותר. יתר על כן, גרף זה מראה שנמצא מתאם חיובי בין מרחק התנועה לבין משך הזמן המשוחזר, ישנה התאמה בין הממצאים שלנו לממצאי המחקר.

עבור הגרף הימני ציר ה Y מציג את ה error. כל קופסא מראה את התפלגות השגיאה כולל חציון וטווח בין רבעונים. החציון של המבחן השמיעתי בלבד גבוה מהשאר ופיזור הנתונים רחב יותר, כלומר המשתתפים העריכו יתר על המידה את הזמן עבור הצליל שהושמע. עבור מבחן התנועה, והמבחן המשולב ניתן לראות פיזור קטן יותר של הנתונים, כלומר התנועה עזרה להגיע לתזמון שמיעתי מדויק יותר.

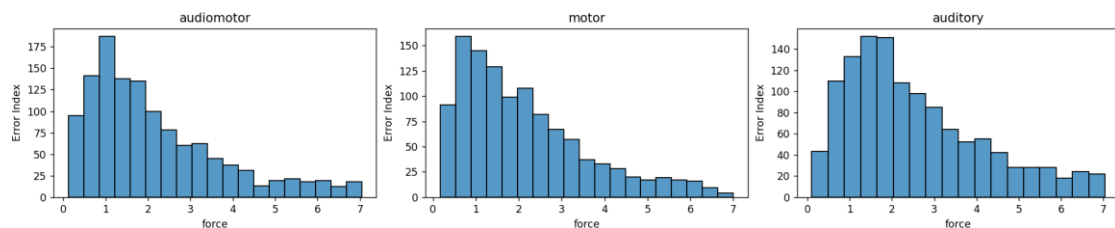


בגרפים אלו מוצגים התפלגות הנתונים של מרחק התנועה בציר ה X, ביחס ל error המיוצג בציר ה Y ב-3 היסטוגרמות בהתאם לכל סוג מבחן. כאמור במבחן השמיעתי לא היה משולב תנועה, ולכן הגרף מרוכז בטווח האפס. בניסוי השמיעתי בלבד אין תנועה וניתן לראות בהתאם חוסר דיוק בתזמון השמיעתי, זה יכול להצביע על כך שהתנועה עצמה משפרת את תפיסת הזמן. שני הגרפים האחרים נראים דומים מאוד, שניהם מציגים התפלגות עם שיא סביב טווח תנועה של 0.3–0.4 וירידה הדרגתית עד טווח תנועה של 1.6, כלומר טווח התנועה שנמדד הוא דומה. כך שניתן לראות שכל שהטווח תנועה קטן יותר בעיקר בטווח של 0.3–0.4 הערכת זמן פחות מדויקת. כשטווח התנועה הוא הגדול ביותר, טווח של 1.6, הדיוק בתזמון השמיעתי הכי טוב, וניתן לראות שהגרף מתקרב לאפס.

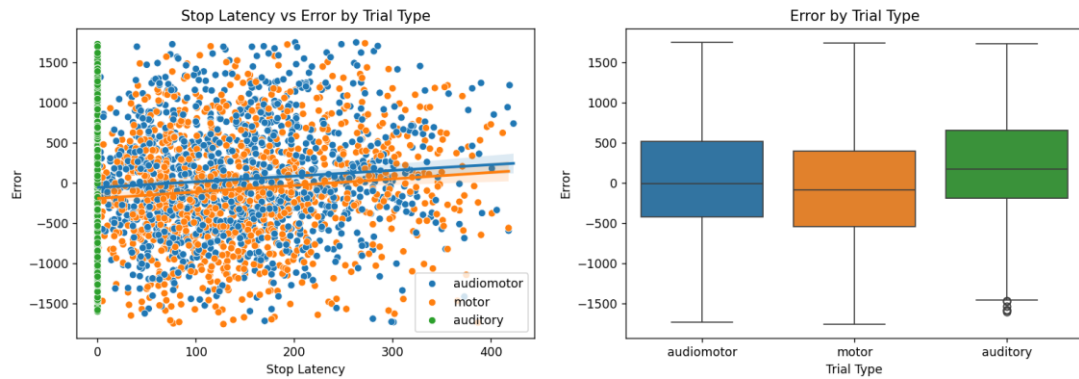


הגרף השמאלי מציג את הקשר בין כוח התנועה לבין ה error שנמדד, עבור 3 סוגי מבחנים. הצבעים מייצגים את 3 סוגי המבחנים. כחול – (audiomotor) מבחן ששילב תנועה ושמיעה. כתום – (motor) מבחן של תנועה בלבד. והגרף הימני – (auditory) מבחן של שמיעה בלבד. ציר ה X-מציג את כוח התנועה. ציר ה Y-מציג את השגיאה בהערכת הזמן. אתייחס לקווי הרגרסיה עבור כל סוג מבחן. ניתן לראות שככל שהכוח שצריך להשקיע גדול יותר, כך הערכת התזמון הייתה טובה יותר והתקרבה לאפס, ומנקודה מסיימת תפסית הזמן הפכה לקצרה יותר מאשר מה שהושמע בפועל, עבור שלושת הניסויים. כלומר, כאשר הכוח המופעל גדול יותר המשתתפים נוטים להעריך את משך הזמן כקצר יותר. אך השינוי הוא אינו משמעותי, הקשר בין השנים אינו חזק. בנוסף, בניסוי המשולב נמדדו ערכי הדיוק הטובים ביותר, שכן קו הרגרסיה הכחול מתרכז בעיקר בערכי האפס של error. קו רגרסיה זה מראה תוצאות טובות יותר של דיוק, ביחס למבחן התנועה בלבד. כך שהממצא שעולה מגרף זה תומך גם במסקנה של המחקר ששילוב בין שמיעה לתנועה מעניק את הערכת זמן הטובה ביותר.

עבור הגרף הימני ציר ה Y מציג את ה error. כל קופסא מראה את התפלגות השגיאה כולל חציון וטווח בין רבעונים. המבחן המשולב הראה שגיאות שקרובות יותר לאפס, כלומר ביצוע מדויק יותר בתפסית הזמן. המבחן השמיעתי בלבד לא כללו תנועה, וכתוצאה הראה פיזור רחב יותר של שגיאות, כולל שגיאות קיצוניות. ממצא זה מראה כי שמיעה בלבד מניב את יחס התפיסה הכי פחות טוב. וכי בניסוי של התנועה בלבד, התוצאות דומות לניסוי המשולב, עם מעט יותר שגיאות.

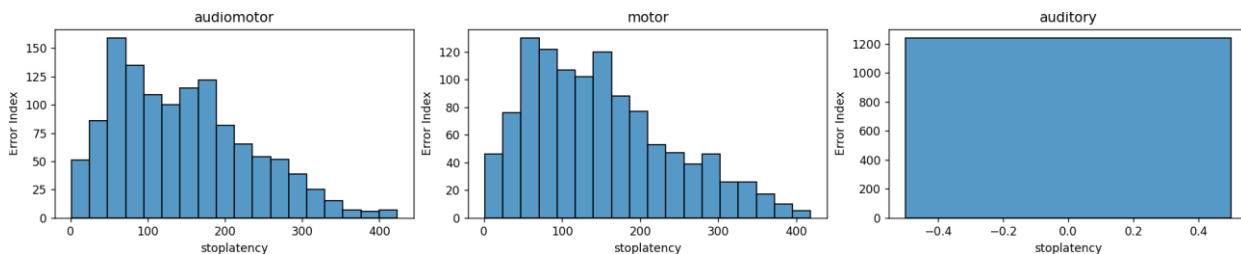


בגרפים אלו מוצגים התפלגות השגיאה בציר ה Y ביחס לכוח התנועה בציר ה X, ב 3 היסטוגרמות בהתאם לכל סוג מבחן. בכל המבחנים חוסר דיוק התפיסתי היה הגבוה ביותר כאשר הכוח שהופעל היה מועט. והדיוק השתפר ככל שהכוח שהושקע היה גדול יותר. ניתן לראות במבחן שככל שהכוח עולה, הדיוק עולה בצורה טובה יותר מכל מבחן בנפרד.

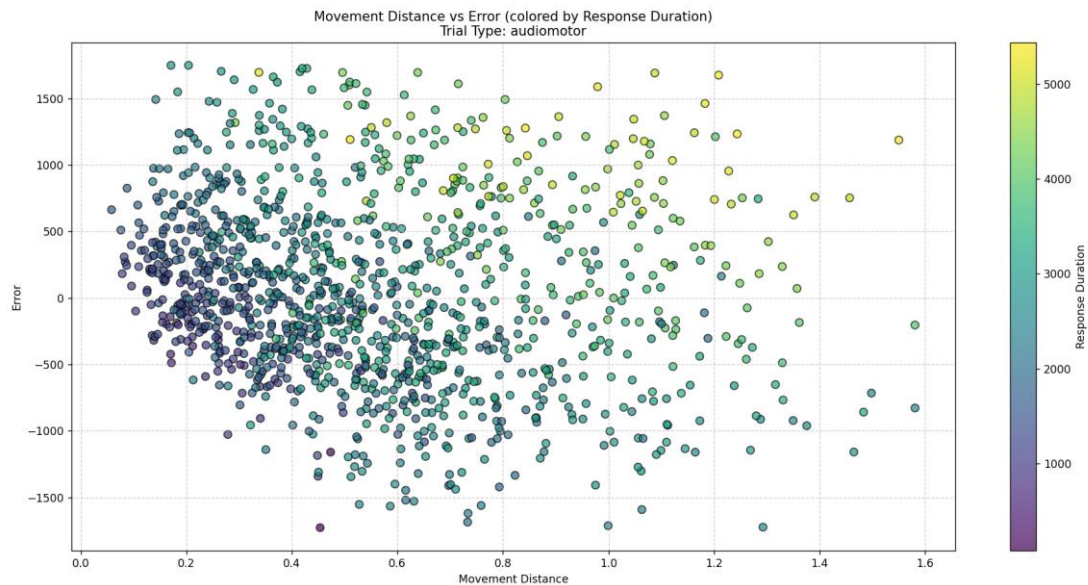


הגרף השמאלי מציג את הקשר בין הזמן שלקח להשלים את התנועה לבין ה error שנמדד, עבור 3 סוגי מבחנים. הצבעים מייצגים את 3 סוגי המבחנים. כחול – (audiomotor) מבחן ששילב תנועה ושמיעה. כתום – (motor) מבחן של תנועה בלבד. והגרף הירוק – (auditory) מבחן של שמיעה בלבד. ציר ה X-מציג את משך זמן התנועה. ציר ה Y-מציג את השגיאה בהערכת הזמן. אתייחס לקווי הרגרסיה עבור כל סוג מבחן. ניתן לראות עליה קלה בקווי הרגרסיה הכחול והכתום. כלומר שכל שמשך זמן התנועה ארוך יותר כך הערכת תפיסת הזמן של הנבדקים ארוכה יותר מהמקור. אך הפיזור רחב מאוד, כלומר אין מתאם חזק בין משך התנועה לדיוק. עבור המבחן השמיעתי בלבד, המשתתפים לא ביצעו תנועה לכן אין ערכים למשך התנועה.

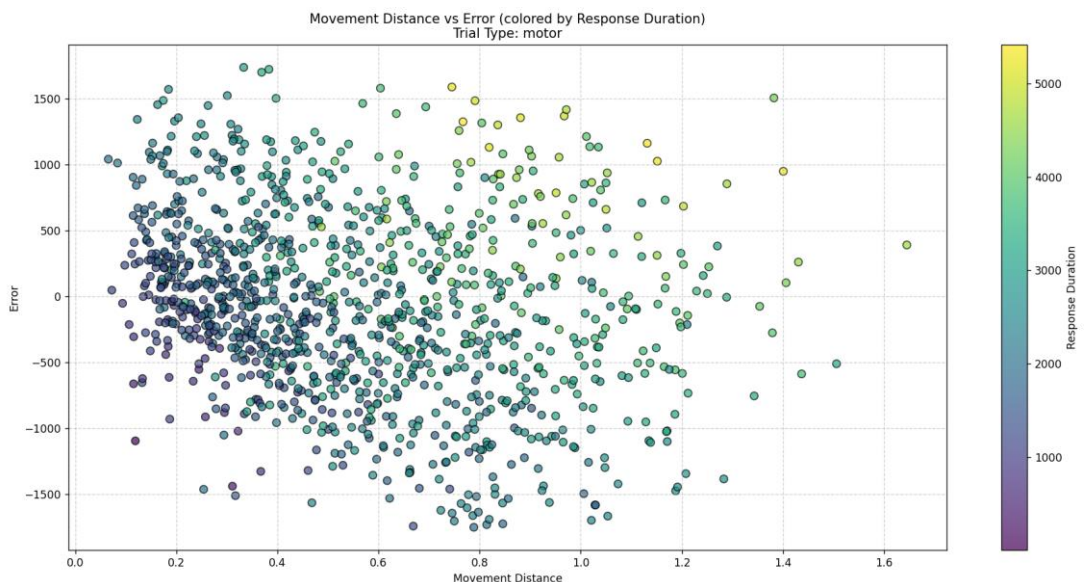
עבור הגרף הימני ציר ה Y מציג את ה error. כל קופסא מראה את התפלגות השגיאה כולל חציון וטווח בין רבעונים. המבחן המשולב הראה שגיאות שקרובות יותר לאפס, כלומר ביצוע מדויק יותר בתפיסת הזמן. המבחן השמיעתי בלבד לא כלל תנועה, וכתוצאה הראה פיזור רחב יותר של שגיאות, כולל שגיאות קיצוניות. ממצא זה מראה כי שמיעה בלבד מניב את יחס התפיסה הכי פחות טוב. וכי בניסוי של התנועה בלבד, התוצאות דומות לניסוי המשולב, עם מעט יותר שגיאות.



בגרפים אלו מוצגים התפלגות הנתונים של משך זמן התנועה בציר ה X, ביחס ל error המיוצג בציר ה Y ב 3 היסטוגרמות בהתאם לכל סוג מבחן. כאמור במבחן השמיעתי לא היה משולב תנועה, ולכן הגרף מוצג כך. ניתן לראות כי משך זמן תנועה קצר גרר הערכת יתר של הזמן, וכל שמשך זמן התנועה עולה הדיוק עולה, אך עדין ישנם הערכות יתר גם בזמני תנועה ארוכים יותר. הגרף של המבחן המשולב מציג את התוצאות הטובות ביותר של דיוק.

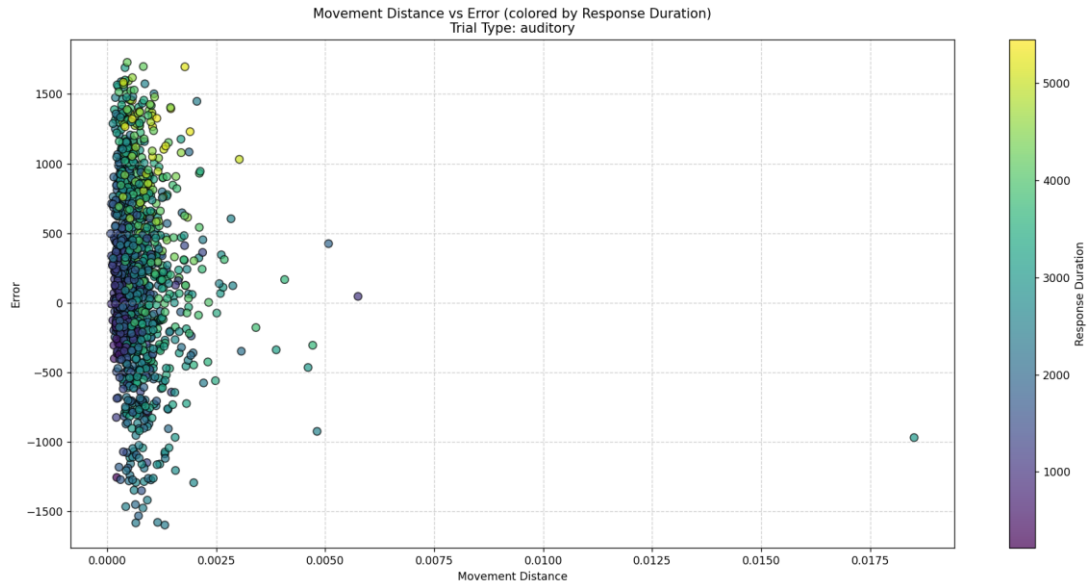


הגרף מציג את מרחק התנועה ביחס ל error לפי זמן התגובה של הנבדק עבור המבחן המשולב. ציר הX מציג את מרחק התנועה, ציר הY מציג את ה error שנמדד. הצבעים הבהירים, ירוק וצהוב, מציגים זמן תגובה ארוך, והצבעים הכהים, הכחול והסגול, מציגים זמן תגובה קצר יותר. ניתן לראות כי הצבעים הבהירים מופיעים באזור גבוה יותר של ה error, כלומר עבור משתתפים שזמן התגובה שלהם היה ארוך יותר, הם נטו להערכת יתר של תזמון הצליל מאשר איך שהיה בפועל. יש פיזור רב בנתונים, כלומר מרחק התנועה אינו הגורם היחיד המשפיע על תפיסת הזמן. ניתן לראות שיש נבדקים שמעריכים גם הערכת חסר (Error שלילי) וגם הערכת יתר (Error חיובי), בלי קשר ברור ומובהק למרחק התנועה. זה עשוי להעיד על שונות בין-אישית בתפיסת הזמן.

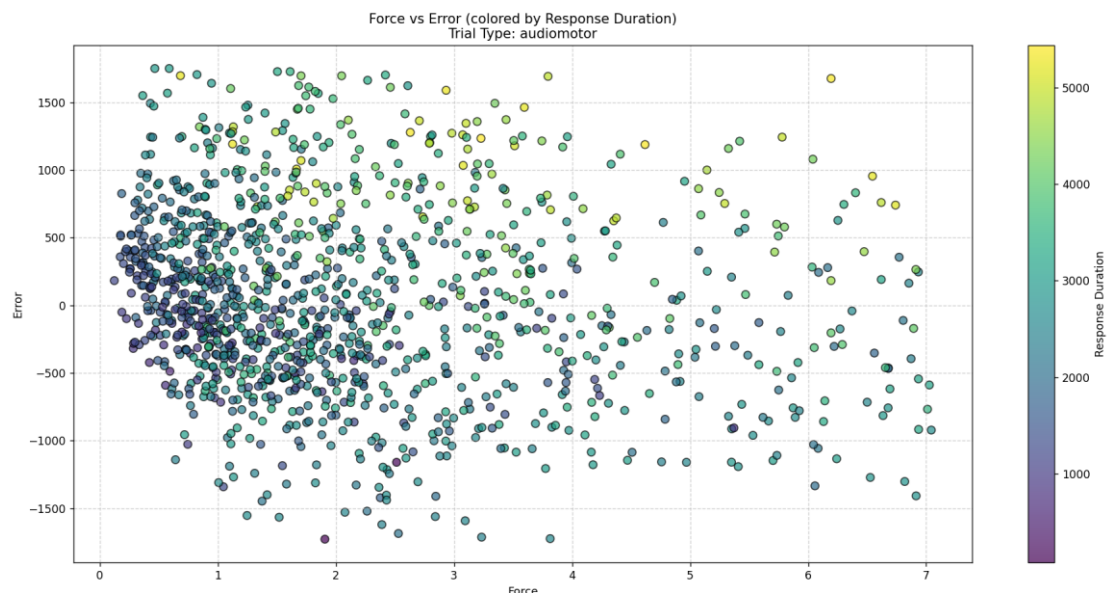


הגרף מציג את מרחק התנועה ביחס ל error לפי זמן התגובה של הנבדק עבור המבחן המוטורי בלבד. ציר הX מציג את מרחק התנועה, ציר הY מציג את ה error שנמדד. הצבעים הבהירים, ירוק וצהוב, מציגים זמן תגובה ארוך, והצבעים הכהים, הכחול והסגול, מציגים זמן תגובה קצר יותר. ניתן לראות כי הערכת יתר של הזמן בעיקר מתרחשת במרחקי תנועה גדולים יותר. בעוד שהערכת חסר של הזמן שכיחים יותר במרחקי תנועה קטנים עד בינוניים. גם כאן קיים פיזור נרחב אך פחות מהגרף

הקודם. הצבעים הבהירים מופעים באזור גבוה יותר של ה error, כלומר עבור משתתפים שזמן התגובה שלהם היה ארוך יותר, הם נטו להערכת יתר של תזמון הצליל מאשר איך שהיה בפועל. בעוד שהצבעים הכהים מופעים באזור נמוך יותר של ה error, כלומר עבור משתתפים שזמן התגובה שלהם קצר יותר העניקו הערכת זמן מדויקת יותר. במבחן המוטורי בלבד ניתן לראות פחות ערכי error קיצוניים, יתכן שהשילוב של השמיעה במבחן המשולב גרם לסטיות גדולות יותר בהערכה.

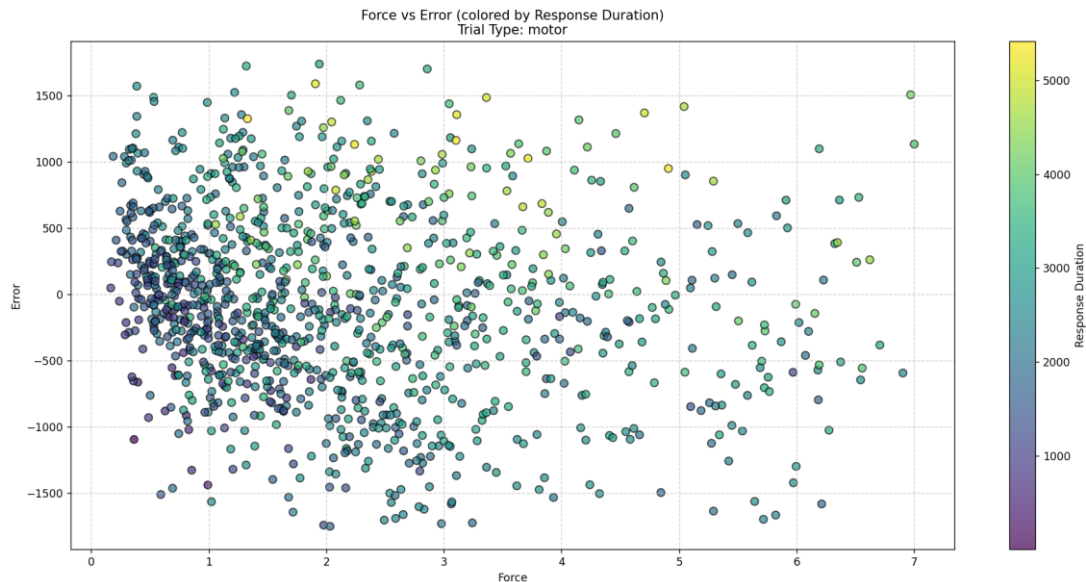


הגרף מציג את מרחק התנועה המופיע על ציר ה X , ביחס ל error המוצג בציר ה Y לפי זמן התגובה של הנבדק עבור המבחן השמיעתי. הצבעים הבהירים, ירוק וצהוב, מציגים זמן תגובה ארוך, והצבעים הכהים, הכחול והסגול, מציגים זמן תגובה קצר יותר. עבור המבחן השמיעתי בלבד, המשתתפים לא ביצעו תנועה לכן אין ערכים למרחק התנועה והגרף מתרכז באזור האפס. גם בגרף זה ניתן לראות כי הצבעים הבהירים מופעים באזור גבוה יותר של ה error, כלומר עבור משתתפים שזמן התגובה שלהם היה ארוך יותר, הם נטו להערכת יתר של תזמון הצליל מאשר איך שהיה בפועל.

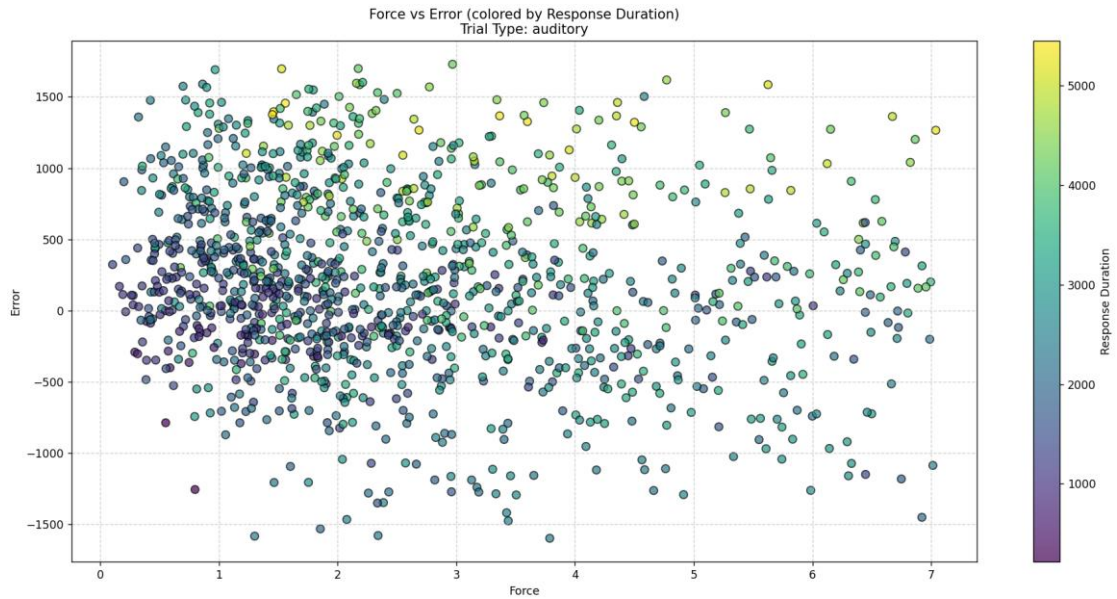


הגרף מציג את כוח התנועה ביחס ל error לפי זמן התגובה של הנבדק עבור המבחן המשולב. ציר ה X מציג את כוח התנועה, ציר ה Y מציג את ה error שנמדד. הצבעים הבהירים, ירוק וצהוב, מציגים זמן תגובה ארוך, והצבעים הכהים, הכחול והסגול, מציגים זמן תגובה קצר יותר. ניתן לראות כי ברמות כוח הנמוכות של בין 0 ל 1, וברמות כוח הגבוהות בין 5 ל 7, הערכת זמן מתפרסת לערכים

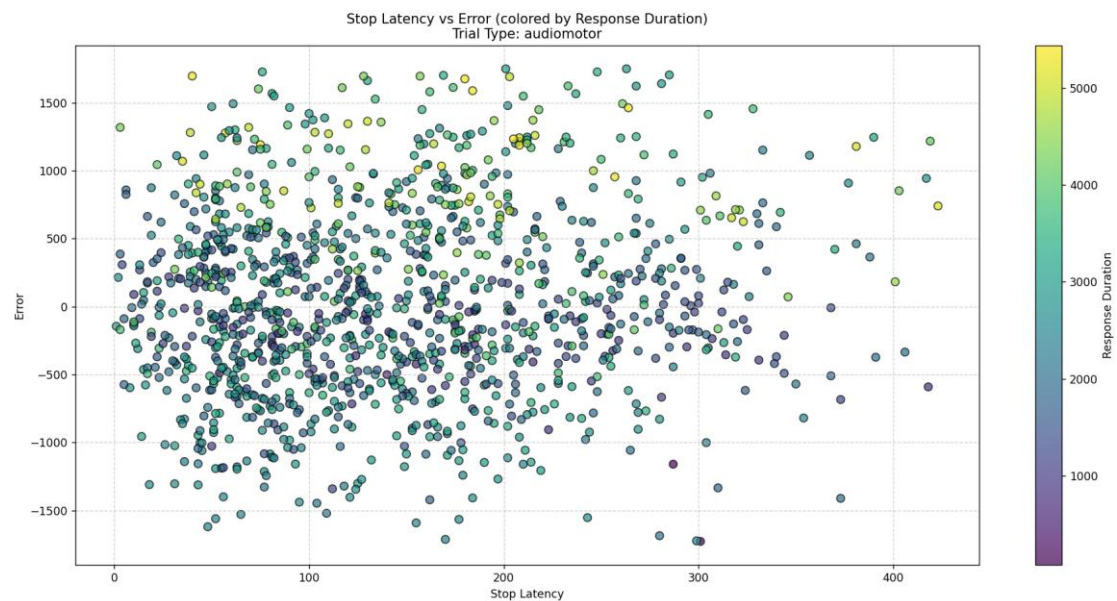
חיובים ושילילים. כלומר בטווחים אלו המשתתפים נטו להערכת יתר או הערכת חסר של הזמן. בעוד שהטווח האמצעי בין 1 ל 3 נראה כי השגיאות מتركזות באזור ה 0, משמע עבור רמת כוח זו המשתתפים הכי דייקו בהערכת הזמן. זה עשוי להצביע על כך שקיימת רמת כוח אופטימלית שבה תפיסת הזמן היא המדויקת ביותר. בנוסף ניתן לראות קשר בין משך זמן התגובה לכוח. זמן תגובה ארוך יותר, הצבעים הבהירים, מופעים יותר עבור רמות כוח גבוהות. ככל שהכוח שהופעל היה חזק יותר, כך משך התגובה היה ארוך יותר.



הגרף מציג את כוח התנועה בציר ה X, ביחס ל error המוצג בציר ה Y, לפי זמן התגובה של הנבדק עבור המבחן המוטורי בלבד. הצבעים הבהירים, ירוק וצהוב, מציגים זמן תגובה ארוך, והצבעים הכהים, הכחול והסגול, מציגים זמן תגובה קצר יותר. ניתן לראות כי ברמות כוח הנמוכות של 0 ל 2, השגיאות מتركזות באזור ה 0, משמע עבור רמת כוח זו המשתתפים הכי דייקו בהערכת הזמן. בעוד שברמות כוחות הגבוהים יותר השגיאות נוטות להתפזר בטווח רחב יותר, הערכת זמן מתפרסת לערכים חיובים ושילילים. כלומר ברמות כוח שמעל 2, המשתתפים נטו להערכת יתר או הערכת חסר של הזמן. בנוסף ניתן לראות קשר בין משך זמן התגובה לכוח. זמן תגובה ארוך יותר, הצבעים הבהירים, מופעים יותר עבור רמות כוח גבוהות. ככל שהכוח שהופעל היה חזק יותר, כך משך התגובה היה ארוך יותר.



הגרף מציג את כוח התנועה בציר ה X , ביחס ל error המוצג בציר ה Y , לפי זמן התגובה של הנבדק עבור המבחן השמיעתי בלבד. הצבעים הבהירים, ירוק וצהוב, מציגים זמן תגובה ארוך, והצבעים הכהים, הכחול והסגול, מציגים זמן תגובה קצר יותר. ניתן לראות כי יש פיזור רחב של שגיאות. כאמור מבחן השמיע לא כלל תנועה, לכן ניתן לראות תוצאות פחות טובות בדיוק הערכת הזמן.



הגרף מציג את הזמן שלקח להשלים את התנועה בציר ה X , ביחס ל error המוצג בציר ה Y , לפי זמן התגובה של הנבדק עבור המבחן המשולב. הצבעים הבהירים, ירוק וצהוב, מציגים זמן תגובה ארוך, והצבעים הכהים, הכחול והסגול, מציגים זמן תגובה קצר יותר. ניתן לראות כי יש פיזור רחב של שגיאות. רוב הנקודות מרוכזות בזמני עצירה נמוכים יחסית בין אפס ל 200 מילישניות, משמע רוב המשתתפים השלימו את הפעולה מהר יחסית. זמן תגובה ארוך יותר בהתאמה עם זמן השלמת התנועה ארוכה יותר.

דיון ומסקנות

בהתאם לתוצאות אלו נרכז את המסקנות כיצד משפיע גורמי הפעולה מוטורית על התפיסה האישית של תזמון שמיעתי. תנועה מעלה את הדיוק בתזמון, בעוד ששימוש בשמיעה בלבד הניב את התוצאות הכי פחות טובות בדיוק הזמנים. ככול מרחק תנועה גדול יותר, כלומר תנועה רחבה וגדולה יותר מובילה להערכת תזמון מדויקת יותר. ככל שהכוח המושקע גדול יותר, כך הדיוק עולה, עד נקודה אופטימלית מסוימת. יתכן כי קיימת רמת כוח אופטימלית שבה תפיסת הזמן היא המדויקת ביותר. ככל שהכוח שהופעל היה חזק יותר, כך משך התגובה היה ארוך יותר עבור כל המבחנים. עם זאת, נראה כי המדד של כוח התנועה הכי פחות משפיע על תפיסת התזמון, ביחס לגורמי התנועה האחרים שבדקנו. באותו אופן, ראינו כי משך זמן התנועה הוא אינו גורם המשפיע משמעותית על הדיוק בתזמון השמיעתי. אך קיימת עליה קלה בהערכת יתר של הזמן, ככול שמשך זמן התנועה ארוך יותר. משתתפים שזמן התגובה היה ארוך ואיטי יותר נטו להערכת יתר של תזמון הצליל מאשר איך שהיה בפועל, בכל שלושת המבחנים.

לסיכום, המבחן המשולב משפר את תפיסת התזמון, והדיוק עולה עבור כל גורם תנועה שבדקנו עבור המבחן המשולב, בהתאם לממצאים המקוריים של המחקר. כמו כן, מצאנו מתאם חיובי בין מרחק התנועה הגדל להערכת תזמון מדויקת יותר, בהתאם לממצאי המחקר גם כן.