

מציאות רבודה בחינוך הנדסי

פיתוח וולידציה של סביבת למידה לפס ייצור תעשייתי

נעמי אונקלוס-שפיגל, אלעד דננברג ודן קופרמן
המכללה האקדמית להנדסה בראודה



מכללת בראודה להנדסה | מעבדת CIM



האתגר בהוראת פס ייצור תעשייתי

פסי ייצור משלבים ניהול, אוטומציה, בקרת איכות ולוגיסטיקה, ומהווים רכיב הוראה מרכזי בתוכניות הנדסה

1 תצפיות שטח יקרות

1

ותצפיות בשטח שגוזלות משאבים, קואורדינציה מורכבת עם גורמי תעשייה

2 חשיפה לסיכוני בטיחות

2

אי אפשר לתת לסטודנטים להתנסות באופן חופשי על פס ייצור אמיתי

3 חלופה בטוחה: מציאות רבודה

3

ללא עלות ריאלית וללא סיכון, הדמיית תרחישי תקלה ותצפית חוזרת



הפער בספרות המחקרית

מחקר קיים ב-AR-חינוכי

- מתמקד בקבוצת משתמשים אחת בלבד
- לרוב סטודנטים, ללא התייחסות למרצים או למפעילים תעשייתיים

(Syed et al., 2022)

מה המחקר הזה בוחן

- כיצד מעצבים סביבת AR אחת שמשרתת שלוש קבוצות בעלי עניין במקביל
- סטודנטים, מרצים ומפעילים תעשייתיים, עם צרכים שונים תחת ממשק אחד
- עיצוב מרחבת-בעלי עניין כפתרון, לא כפשרה

שאלות המחקר

RQ3

כיצד לומדים המשתמשים
בסביבה תופסים את תרומתה
?להבנת הנושא ההנדסי הנלמד

RQ2

מהם המאפיינים הנדרשים של
סביבת AR כזו, מנקודת מבטם
של כל בעלי העניין?

RQ1

אילו בעלי עניין בהנדסה ובחינוך
הנדסי עשויים למצוא ערך
בסביבת למידה מבוססת AR,
וכיצד?

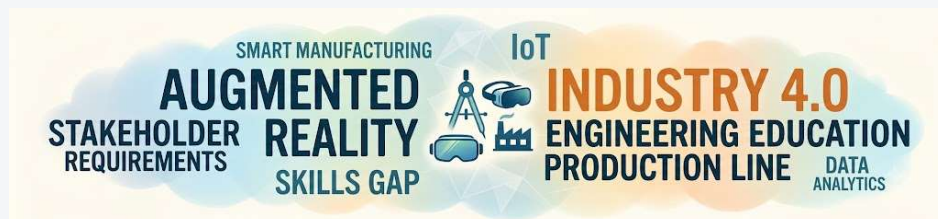
מתודולוגיה – סקירת ספרות

Google Scholar

IEEE Xplore

ACM Digital Library

מונחי חיפוש



כללי הכללה

- מאמרים משנים 2018 עד 2025
- יישומי AR בחינוך הנדסי או תעשייתי
- עם הערכה אמפירית

מסגרת דרישות ראשונית שהנחתה את שלב הפיתוח: תוצר

זיהוי בעלי העניין

מפעילים בתעשייה

- מעקב מיקום, מהירות וסטטוס קו הייצור בזמן אמת
- התראות על עיכובים בדיוק של כחצי שנייה
- אמינות לפחות שלושים דקות בעומס מלא
- עדכוני חיישנים כל 10-100 מילישניות

מרצים/מדריכים

- הדרכה בזמן אמת דרך שלבי הייצור
- בחנים ואלמנטים להערכת הבנה
- תמיכה במספר משתמשים במקביל בכיתה

סטודנטים

- ויזואליזציה תלת מימדית ומעקב בזמן אמת אחר תהליכי הייצור
- ממשק מגע פשוט למכשירי Android
- תחנות לימודיות עם תוכן ובחנים

פיתוח התוצר - איטרטיבי

3

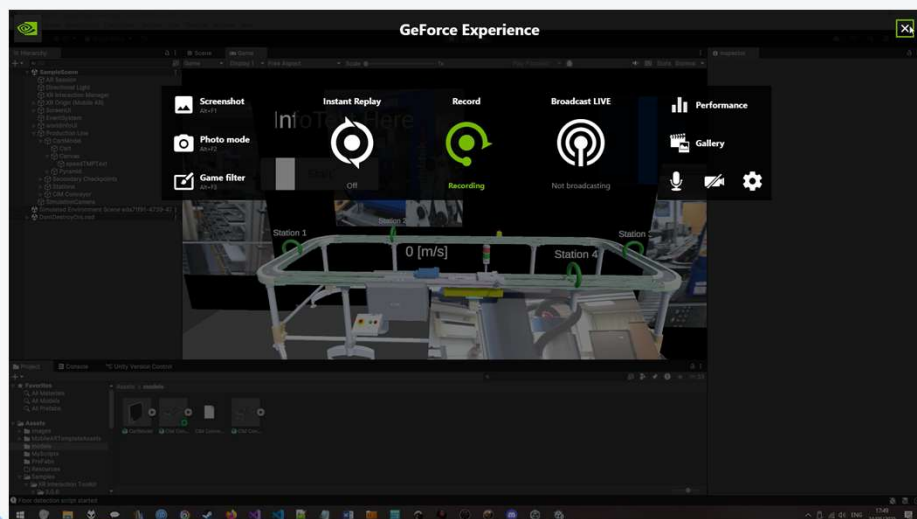
איסוף משוב מובנה
איתור פערים בין הדרישות לממשק
בפועל

2

הדגמה לבעלי עניין
מהצוות ההוראתי 2, סטודנטים 2
ומפעיל מעבדה אחד

1

פיתוח גרסה
על בסיס הדרישות שנאספו



HCI2025

הגרסה הסופית | Android: חיישני
IMU ו QR למעקב בזמן אמת |
Digital Twin לייצוג מצב המערכת

שאלת מחקר 1 – בעלי העניין

פונקציונליות ההוראה של המרצה שירתה גם את צורך הסטודנטים בהנחיה. ממשק ויזואלי ברור לסטודנטים תורם גם לאמינות הנתפסת של המפעיל.

שכבת ברירת מחדל: סטודנטים

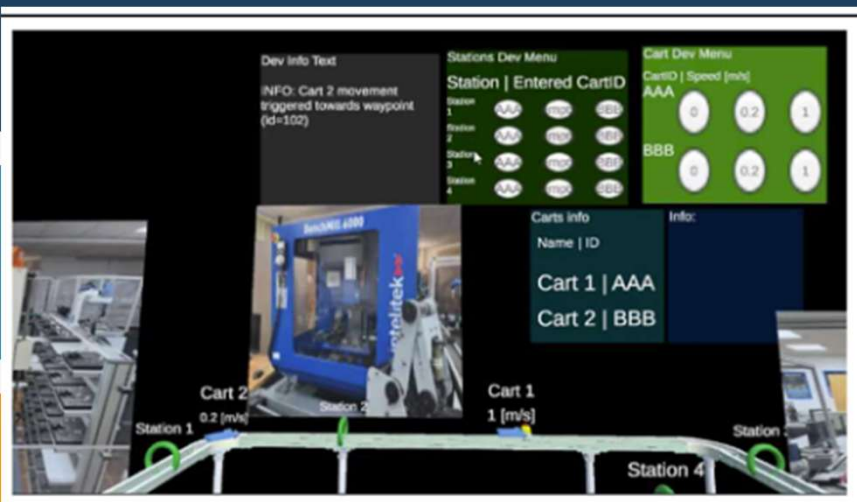
ויזואליזציה תלת-ממדית, אינטראקציה במגע, חידוני הבנה

שכבה נוספת: מרצים ומדריכים

הנחיה בזמן אמת, חידונים, ריבוי משתמשים

שכבה נוספת: מפעילים תעשייתיים

מיקומים ומהירויות, זמני הגעה, התראות עיכוב



Fridman, Shlomi, Berenson, Shachar, & Unkelos-Shpigel, Naomi (2025, September). Production Line Augmented Reality Application. In 2025 IEEE 33rd International Requirements Engineering Conference (RE) (pp. 580-581). IEEE

שאלת מחקר 2 – מאפייני המערכת

1 דיוק מעקב

1

שילוב חיישני QR ו-IMU הגיע לדיוק של ± 0.5 שניות בחישוב זמני הגעה

2 עומס קוגניטיבי

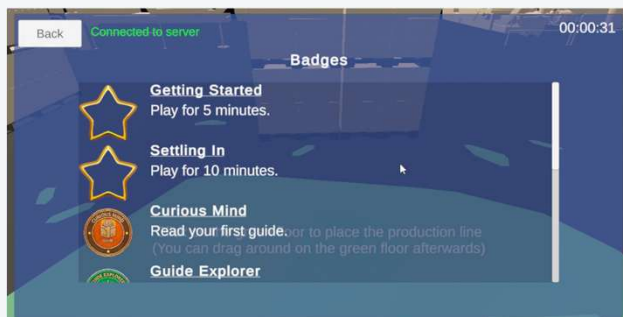
2

גרסה ראשונה הציגה מידע רב מדי; הפתרון: שכבות מידע הנפתחות לפי בחירה

3 ביצועים במשתמשים מרחבים

3

סנכרון בזמן אמת בין מכשירים דרש אופטימיזציה של שכבת התקשורת



ניסוי פיילוט – סמסטר חורף תשפ"ו

16

סטודנטים להנדסת מכונות

קורס תעשייה 4.0

ללא חשיפה קודמת לפס הייצור

15

דקות פעילות לכל משתתף



קבוצת האפליקציה

- השתמשה ב-PLARA
- מילאה גם שאלון SUS

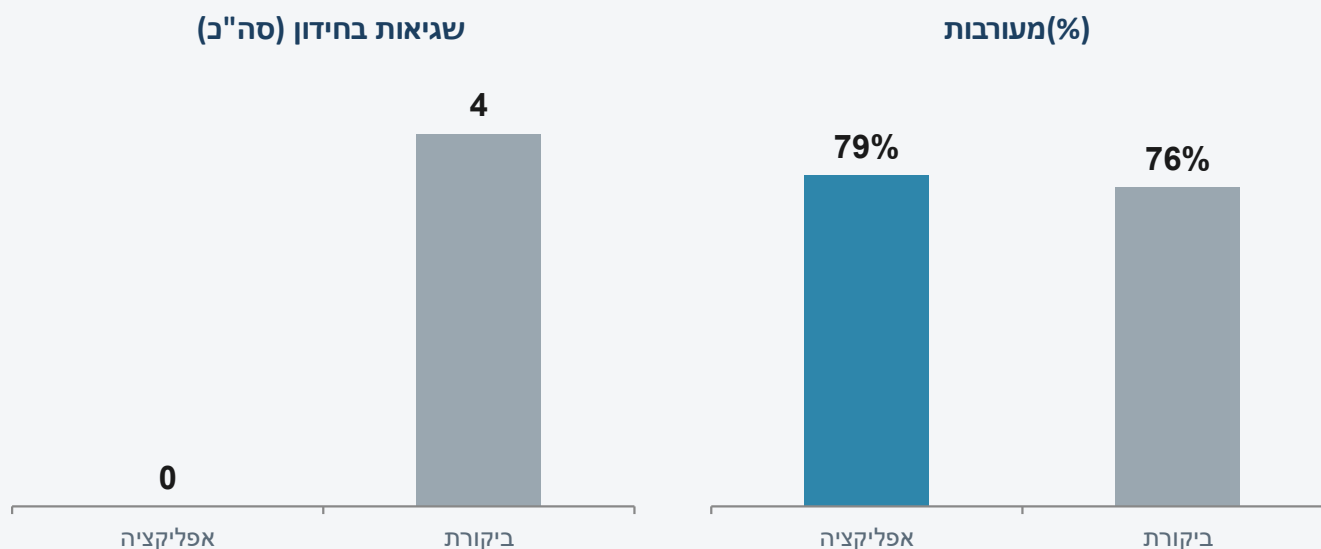
What is the primary purpose of the production line in Lab D106? *

- ☐ To produce commercial goods for sale
- ☐ To simulate automated material handling and manufacturing processes
- ☐ To demonstrate electrical circuit assembly
- ☐ To test robotics software for industrial use
- ☐ To train students on database management systems

קבוצת הביקורת

- הסבר - Google Docs
- שאלון – Google Forms

שאלת מחקר 3 - ממצאים כמותיים - תפיסת שימושיות



SUS שימושיות

71.88

(68) "מעל סף טוב"

נבדק רק בקבוצת האפליקציה

- יתרון קוגניטיבי ברור - אפס שגיאות בקבוצת הניסוי
- הפרש המעורבות (3%) מלמד שה-AR לפחות מתחרה בכלים סטנדרטיים ולא יוצר עומס.
- מדגם של 16 משתתפים מגביל את ההכללה.

דיון ומגבלות

מגבלות

- משוב שלב הפיתוח מבוסס על קבוצות קטנות ואיכותניות
- מדגם של 16 משתתפים בניסוי חד-פעמי
- לא ניתן לשלול השפעת אפקט חידוש (novelty effect) של הטכנולוגיה

תרומה

- עיצוב מרובה-בעלי עניין ב-AR-חינוכי אינו מוביל בהכרח לפשרות
- אפשר לגשר בין צרכים חינוכיים ותעשייתיים בו-זמנית
- הפיתוח האיטרטיבי מאפשר לזהות סינרגיות מוקדם ולנצל אותן

המשך – שנת הלימודים תשפ"ז

3

מדידה לאורך זמן

השוואת ביצועי סטודנטים
לביצועיהם PLARA-שנחשפו ל
בהמשך הסמסטר

2

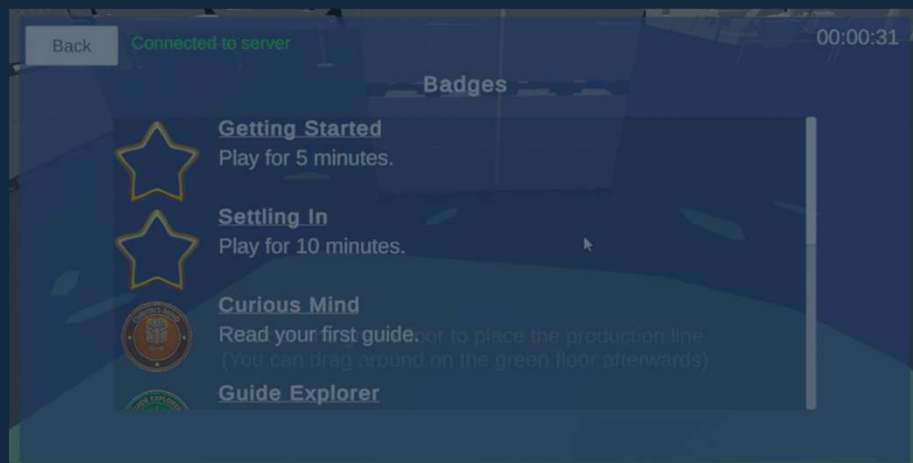
ראיונות חצי-מובנים

עם נציגי כל קבוצות בעלי העניין
לעומק תפיסת התרומה החינוכית

1

מדגם מוגדל

הרחבת הניסוי לכוח סטטיסטי
מספק ובחינת יציבות ממצאי
הלמידה



תודה רבה!

שאלות?



naomius@braude.ac.il



<https://bit.ly/naomius>



Al-Ansi, A. M., Jaboob, M., Garad, A., & Al-Ansi, A. (2023). Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education. *Social Sciences & Humanities Open*, 8(1), 100532.

Magaña, E. C., Ariza, A. C., Ruiz-Palmero, J., & Guillén-Gámez, F. D. (2025). Virtual, augmented, and mixed reality in the university environment: An analysis of scientific production. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 14(1).

Pavanatto, L., North, C., Bowman, D. A., Badea, C., & Stoakley, R. (2021). Do we still need physical monitors? An evaluation of the usability of AR virtual monitors for productivity work. In *2021 IEEE Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (pp. 759–767). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VR50410.2021.00103>

Peter, O., Pradhan, A., & Mbohwa, C. (2023). Industrial internet of things (IIoT): Opportunities, challenges