



עתידי התקשורת התעשייתית – רשתות אוטומטיות בעידן האינטרנט של הדברים

וולשלגר, סאוטר וג'ספרניט

מעובד על פי:

Wollschlaeger, M., Sauter, T. and Jasperneite J. (2017). The Future of Industrial Communication: Automation Networks in the Era of the Internet of Things and Industry 4.0, in *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 11(1), pp. 17-27, doi: 10.1109/MIE.2017.2649104.

מטרת מאמר זה היא לסקור את השפעת האינטרנט של הדברים (IoT) ומערכת סייברפיזית (CPS) על אוטומציה תעשייתית. כמו כן יסקרו הנושאים רשתות תקשורת מקומיות (TSN) ותפקיד הטלפון של הדור החמישי (G5).

מגמות אחרונות בטכנולוגיית אוטומציה

לאחר גילוי כוח הקיטור המקל על עבודת כפיים קשה והמצאתו של ייצור המוני המבוסס על חלוקת עבודה, אוטומציה טכנולוגית היא התהליך המתרחש כיום והמכונה המהפכה התעשייתית השלישית. החל משנות השמונים התפתחו והתרבו רשתות תקשורת תעשייתיות שמטרתן המרכזית היא חילופי מידע. התפתחויות אלו במקרים רבים הותאמו לטכנולוגיות שנוצרו בתחומים אחרים, בעיקר בעולם טכנולוגיית המידע והתקשורת (ICT). אתרנט (Ethernet), רשתות אלחוטיות או טכנולוגיות אינטרנט הן דוגמאות לכך. טכנולוגיות אלה יצרו הזדמנויות חדשות לחילופי מידע מקיפים יותר. כתוצאה מכך גם מערכות אוטומציה הפכו מורכבות יותר.

המגמות האחרונות המשפיעות על טכנולוגיית האוטומציה הן האינטרנט של הדברים (IoT) ומערכת סייברפיזית (CPS). מושגים אלה אינם חדשים לחלוטין והופיעו בהקשר של תקשוב כבר לפני מספר שנים. לאחרונה, עם זאת, הם חודרים לאוטומציה תעשייתית ומשנים את הפרספקטיבה ממנה האדם מביט על אוטומציה של מערכות. יישום הרעיונות של CPS ו-IoT לתחום האוטומציה התעשייתית הוביל להגדרת המושג 4.0, המרמז על המהפכה התעשייתית הרביעית שתאפשר ייצור חכם, מוצרים חכמים ושירותים חכמים.

מנקודת מבט תקשורתית, IoT ו-CPS מסתמכים במידה רבה על אינטרנט נייד, כלומר רשתות טלקומוניקציה, שלא מילאו עד כה תפקיד מרכזי בתקשורת תעשייתית. גם טכנולוגיית המידע (IT) וגם רשתות הטלפון לא יכלו להתמודד עם הצרכים הספציפיים לאוטומציה לתקשורת דטרמיניסטית, אמינה ויעילה. נראה כי מגמה זו משתנה. מצד אחד, עבודה שוטפת על Ethernet TSN נתפסת כתחליף לרשת אוטומציה בזמן אמת. מצד שני, צרכי האוטומציה באים לידי ביטוי בפיתוח רשתות G5. שתי התפתחויות אלו עשויים להוות התנאי המקדים ליישום בפועל של IoT ו-CPS.

ההיסטוריה של התקשורת התעשייתית

בימיה הראשונים של התקשורת התעשייתית, מערכות נאלצו להתגבר על המגבלות הנגרמות מתיאום בין כבלים, חיישנים, מפעילים ובקרים המייצרים פערי תקשורת. הדברים השתנו סביב הפיכת טכנולוגיית



האינטרנט פופולרית (במעבר מהאלף השניה לשלישית) ומעבר לשימוש נרחב ויומיומי ב-IT. בתחום האוטומציה הדבר עורר גל חדש של רשתות מבוססות Ethernet שהשאלו טכנולוגיה בסיסית מעולם ה-IT. היעדר יכולות אמיתיות בזמן אמת ב- Ethernet סטנדרטית, מנע פיתוח של פתרון Ethernet למטרות אוטומציה והוביל להופעה של פתרונות ייעודיים. Ethernet בזמן אמת (RTE) הוא תחום מחקר חי. שלב האבולוציה השלישי עסק ברשתות אלחוטיות. בראש ובראשונה היתרון בשימוש בחיבורים אלחוטיים באוטומציה תעשייתית מאפשר להזיז מכשירים ומכונות משום שאין כבלים מגבילים. יותר מאי פעם, אומצו פרוטוקולי תקשורת בסיסי, בעיקר ממשפחת הפרוטוקולים IEEE 802. האתגר העיקרי הטמון בהן הוא הבטחת יכולות אמיתיות בזמן אמת. אוטומציה תעשייתית היא תחום שמרני, ואמינות רשתות קוויות בדרך כלל עולה על הגמישות המתאפשרת באמצעות קישורים אלחוטיים.

זה היה המצב עד לפני כשנתיים. תקשורת תעשייתית הייתה תערובת של גישות מבוססות Ethernet ופתרונות אלחוטיים. כעת, מושגי IoT ו- CPS בעולם האוטומציה משתנים שוב - כל מה שקשור לאוטומציה משמעותו כי מוצרים הם חלק ממערכת אקולוגית, בעוד הטכנולוגיה מאפשרת חיבור בקנה מידה רחב יותר. המגמה הגדולה הנוספת היא שימוש ביישומים מבוססי ענן. ההבדל הגדול ביחס לגלים הקודמים של האבולוציה בתקשורת תעשייתית הוא הכוח המניע הטכנולוגי. עד כה, השורשים העיקריים של התקשורת התעשייתית היו המכשור. נראה שזה משתנה. אחת התכונות המושכות של הרעיון IoT הוא השימוש במכשירים יומיומיים המופעלים באינטרנט כמו סמארטפונים. היום, ענני הייצור המקומיים משמשים יותר ויותר. התקנים מחוברים ישירות לעננים אלו. במערכות לביצוע ייצור (MES) ומערכות לתכנון משאבים ארגוניים (ERP) משולבים גם פתרונות ענן, כמו גם תקשורת ארגונית. השותפים לאורך שרשרת הערך עשויים להשתמש בענן פרטי עם גישה מוגבלת למידע הקשור במוצר ובתהליכי הייצור שלו. לבסוף, ארגונים או לקוחות אחרים רשאים לגשת למידע באמצעות האינטרנט או בענן ציבורי. למרות השינויים עדיין קיימות מגבלות של דרישות ספציפיות כמו מגבלות זמן, זמינות, וכמובן, מחיר. מנקודת מבטו של משתמש קצה, טכנולוגיות הרשת הבסיסיות פחות מעניינות, כל עוד הן עומדות בדרישות אלה.

עמיד רשתות תקשורת מקומיות התעשייתית

כיום, RTE הפכה לסטנדרט בתחום האוטומציה התעשייתית. פתרונות ה- RTE הקיימים מבוססים על Ethernet מהיר ונבדלים זה מזה בביצועים ובהרחבות של תקני IEEE 802. בקבוצה הראשונה נמצאים היישומים המוקדמים ביותר של Ethernet תעשייתית העושים שימוש בפרוטוקול בקרה (TCP) ובחבילת IP. בקבוצה השניה שירותי זמן אמת ממומשים באמצעות גישת הבקרה התקשורתית (MAC) באמצעות תעודת ותיוג רשת מקומית וירטואלית (VLAN). זמן מחזור בר השגה באמצעות Ethernet מהיר הוא כ-10 ms. גישות ה- RTE הללו עדיין עושות שימוש ב- Ethernet רגיל. בקבוצה השלישית, יכולות תקשורת בזמן אמת מושגות על ידי שינויים ב- Ethernet MAC, כמו תזמון קפדני, דיוק גבוה וסנכרון שעון לפי IEEE 1588. זמן המחזור בר השגה נמוך מ-1 ms. דוגמאות לקבוצה זו הם Sercos III, IRT, EtherCAT, Ethernet PROFINET ו- Ethernet Powerlink.



בינתיים נמשכה ההתפתחות של ה-Ethernet. קבוצת חקר Ethernet הוקמה בשנת 2004 כדי לבחון את הצורך למפרט Ethernet ליישומים עבור חברות כמו ברודקום, נורטל, פיוניר, סמסונג, NEC ומותגי גיבסון. פעילות זו התמזגה למשימת קבוצה נוספת בשנת 2005, עם שחקני מפתח כגון אינטל, ברודקום, מארוול וסמסונג. הקבוצה שינתה את שמה מ-AVB ל-TSN כדי לשקף טוב יותר את ההיקף מוגדל של הסטנדרטים אליהם היא חותרת. הקבוצה שמה לה למטרה לשפר את האמינות ויכולות בזמן אמת של תקן ה-Ethernet (IEEE 802.3, IEEE 802.1D). בפרט, בהתייחס לדרישות מכריעות לאוטומציה תעשייתית: זמן אחסון מופחת ומדויק, דטרמיניזם (עצמאות העברה, סובלנות לתקלות), חומרה, אבטחה ובטיחות (יכולת פעולה הדדית של פתרונות מיצרנים שונים).

אמנם התקינה טרם הושלמה, אך מספר יצרנים כבר מציגים יישומים מקדימים של הפונקציות החדשות שהוגדרו על ידי TSN. היתרונות של TSN כוללים מספר אתגרים, כמו מאמצי תצורה גבוהים יותר, שיכולים להיפתר על ידי מנגנוני תצורה אוטומטית או בעזרת רשת מוגדרת באמצעות תוכנה. למרות שהעבודה ב-TSN טרם הושלמה, הפוטנציאל ליישומי אוטומציה תעשייתית - גבוה.

תפקידן של רשתות G5 באוטומציה תעשייתית

טרנספורמציה דיגיטלית היא הליבה של המהפכה התעשייתית הרביעית, ו-G5 במרכזה. בעשור הבא, תעשיית הייצור צפויה להתפתח לכיוון ארגון מבוזר ייצור, עם מוצרים בעלי יכולת תקשורת, תהליכים עם אנרגיה נמוכה, ושיתופי פעולה רובוטים. מושגים אלה מגולמים במיוחד תחת תעשייה 4.0. קבוצת עבודה של חברת Platform Industrie 4.0 הגרמנית הציעה מספר יישומים. יישום אחד הוא יצירת רשת גיאוגרפית של מפעלים מבוזרים עם התאמה גמישה של יכולות הייצור תוך שיתוף משאבים ונכסים לשיפור מימוש ההזמנות. כתוצאה מכך תעשיות תשפרנה קיבולת זמינה ויפתחו מוצרים ושירותים חדשים.

באירופה, הדור הבא של רשתות נתפס כמערכת משולבת המכסה הן פתרונות תקשורת קוויים והן אלחוטיים, פרטיים וציבוריים, המציעים פונקציות תקשורת וירטואליות ופיזיות. ההטרוגניות של גישה כזו ברורה, שכן אספקת מערך שירותי יישום מתאימים למשתמשים הסופיים הינו דרישת ליבה. לגבי מפעלי העתיד, נראה כי יעדי הביצוע החשובים של G5 הם זמן (נמוך מ-5 ms), אמינות וצפיפות (עד 100 מכשירים/מ"ר), יחד עם אילוצי שטח ואוכלוסייה. יתר על כן, עם זמינות אוניברסלית של תקשורת מיידית, רמה גבוהה של איכות שירות מובטחת (QoS), ורמות עלות המתאימות לציפיות הלקוחות, G5 תסלול את דרך להזדמנויות עסקיות חדשות.

G5 היא יותר מאשר אינטרנט נייד ולכן משמעותה גדולה מההרחבת רשתות הטלפון של ימינו. G5 תשלב טכנולוגיות שונות (למשל, נייד, קווי, לוויין ומסגרות רגולטוריות שונות (למשל, מורשות ולא מורשות), ותפעיל יכולות (למשל, CPS, IoT). בהשוואה לתעשיות אחרות, לאינטרנט התעשייתי יש את מירב הדרישות המחמירות מבחינת זמן ואמינות. המטרה העיקרית היא הגדלת היכולת הטכנולוגיות האלחוטיות הנוכחיות באמצעות

מור-טק מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים

הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, קריית הטכניון, חיפה 32000
טל: 04-8293146

E-mail: Moretech@ed.technion.ac.il

<http://moretech.technion.ac.il>



טכנולוגיית G5 שתאפשר ארגון עצמי והתכוננות לתרחישים עתידיים בהם עד 100 חיישנים יכולים להיות מופעלים למטר מעוקב ללא פגיעה בזמינות רבובטים או מכונות מחוברות. אימוץ טכנולוגיית אינטרנט תאפשר שילוב קל יותר של זרימות עבודה באמצעות ממשקים סטנדרטיים. לכל אחד מתרחישי העבודה עשויים להיות דרישות שונות לגבי רוחב פס, זמן וזמינות, וכתוצאה מכך, עלויות הרשת צריכות להיות קשורות לצרכים. בנוסף, תקשורת מקצה לקצה עשוי לחייב שילוב של טכנולוגיות רשת סלולריות ציבוריות (כגון G5) עם רשתות פרטיות.

הרמוניזציה של הרשתות

בסעיפים הקודמים הראנו כי תשתיות תקשורת במערכות אוטומציה מורכבות והופכות מורכבות יותר והטרוגניות יותר. נקודת המוצא של מאמר זה הנה כי העברת מידע בין ישויות שונות במערכת אוטומציה תעשייתית לא תתאפשר עוד בעזרת רשתות תקשורת בלבד. הובלה בפועל של מידע הוא רק היבט אחד. חשובים לא פחות הם מודלים של העברת המידע והיכולת של משתמשים לגשת למידע.

לפני שנים הוצע מודל תקשורת גנרי המורכב משלוש שכבות הרשתות: אמצעי, תווך ויישומים. השכבה העליונה מורכבת מפונקציות היישום שצריכות להיות מחוברות זו לזו, השכבה האמצעית מאפשרת שירותי תקשורת ושירותי ניהול התווך, והשכבה התחתונה מכילה את הפרוטוקולים. פונקציות יישומים ומודלי מידע הם אבני הבניין של פונקציות עסקיות. שירותים עסקיים מהווים למעשה תיאום של פונקציות יישומים. פונקציות אלו ניתנות יותר ויותר באמצעות שירותים הקשורים למודלים של מידע המוגדרים עבור תחומי יישומים שונים. יישומים מתפקדים צריכים להיות מיושמים על משאבים שונים, באמצעות שירותי תקשורת גנריים.

טכנולוגיות כמו Ethernet תעשייתית מספקות מערכת תקשורת שמבטיחה דרישות לגבי אמינות, זמינות, התנהגות בזמן אמת, וכן הלאה מצד אחד, בזמן שהגמישות וההסתגלות העצמית של אוטומציה והייצור התעשייתי משתנים לאורך זמן. בנוסף, יש לקחת בחשבון את תפקיד G5 ברשתות האוטומציה התעשייתית. סביר כי Ethernet ו-G5 לא יחליפו את כל מערכות התקשורת התעשייתיות הקיימות: עדיין תתקיים תקשורת קווית או מערכות אלחוטיות מדורות קודמים, ויהיה צורך לחבר בין כולם. חיבורים כאלה יהוו יותר מאשר פרוטוקולי המרת נתונים ויפעלו כישויות חכמות השולטות ומייצגות את מערכת האוטומציה הבסיסית בעלת אבטחת גישה לחלקי המערכת.

מסקנות

מערכות תקשורת תעשייתיות עברו התפתחות ארוכה ומושפעות מטכנולוגיות שמחוץ לתחום האוטומציה בפועל. הדרישות הבסיסיות נותרו ללא שינוי: החלפת מידע על תהליכים תעשייתיים במהירות ובאופן אמין. היעדר טכנולוגיה אופטימאלית שתעמוד ביעדים אלה מעוררת פתרונות מגוונים ובלתי תואמים, והקריאות

מור-טק מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים

הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, קריית הטכניון, חיפה 32000
טל: 04-8293146

E-mail: Moretech@ed.technion.ac.il

<http://moretech.technion.ac.il>



לגישות מאוחדות נשמעו אך לא נענו. גם כאשר הבסיס הטכנולוגי עבר לכיוון תקני תקשוב, מגוון הפתרונות נשאר ואפילו גדל, אולם יש תקווה שדברים ישתנו לטובה.

לראשונה דרישות יישומי אוטומציה תעשייתית נלקחים בחשבון בפיתוח תקן ICT חדש. ל- TSN יש פוטנציאל לספק דרישות ללא צורך בתוספות ייעודיות. על גבי רשת כזו ניתן להגיע לתעבורה טובה בזמן אמת ולהשתמש בפרוטוקולים אוטומטיים קיימים ברמה גבוהה.

האינטרס של תעשיות הטלקום ביישומים תעשייתיים היא תוצאה ישירה של אימוץ IoT וה- CPS. לא סביר כי יישום רשתות G5 באוטומציה יספק את כל דרישות האוטומציה המחמירות בזמן אמת. מנקודת מבט יישומית, על תקשורת תעשייתית למלא את הדרישות כשהטכנולוגיה הספציפית לרוב אינה רלוונטית למשתמשי הקצה. הם יסמכו על ספקי שירותים שמבטיחים QoS עבור היישום המיועד, ללא קשר לספק. הרמוניה ברשת תוך הגדרת שירותי תקשורת גנריים באמצעות מודלים מספקים של מידע הוא אחד האתגרים המרכזיים. עם זאת, ייתכן שעדיין יש לפתח טכנולוגיות תעשייתיות ספציפיות במיוחד לנוכח דרישות יישום גבוהות.