بررسی وضعیت ربات صنعتی در صنایع و موسسات آموزشی: فناوری‌های نوظهور، چالش‌ها و آینده همکاری رو به رشد با انسان‌ها

علیرضا محمودی‌فرد [۱]، علی ملکی [۲*]

[۱] دانشجوی کارشناسی‌ارشد ناپیوسته مدیریت صنعتی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه شاهد (و فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی برق و مدرس دانشگاه‌ها)، alireza10.m10@gmail.com

[۲] دانشجوی کارشناسی‌ارشد ناپیوسته مهندسی مخابرات دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، A.malekibme@gmail.com

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۲۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۲۵
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۲۷

کلمات کلیدی:
ربات‌ها
بهره‌وری مؤسسات آموزشی
همکاری انسانی
کوبات‌ها
SME
رباتیک

چکیده

در دهه گذشته، کشورهای اروپایی و شرکت‌های گوناگون، به‌ویژه شرکت‌های آلمانی، تلاش کرده‌اند تا با ادغام آخرین ربات‌ها و فناوری‌های مرتبط در فرآیندهای تولید، مزیت رقابتی در تولید به‌دست آورند؛ برای مثال، ربات‌های مشارکتی (کوبات‌ها) که می‌توانند مستقیما با کارگران کار کنند، به‌جای اینکه به‌دلایل ایمنی توسط قفس از هم جدا شوند، ابزار ممکنی برای بهبود بهره‌وری بدون کاهش قابل توجه اشتغال ارائه می‌دهند؛ با این حال، موفقیت و وسعت تلاش‌ها برای به‌روزرسانی کارخانه‌های اروپایی به‌دلایل مختلف نسبتا متوقف و نابرابر بوده است.

اول، استفاده از این فناوری‌های جدید، مستلزم بازنگری قابل توجهی در مورد ماهیت و استفاده از ربات‌ها و همچنین رفع موانع فنی و اقتصادی است. فن‌آوری‌های رباتیک صنعتی سنتی عمدتاً برای کارهای تولیدی بسیار تکراری استفاده می‌شوند که معمولاً در طول عمر خط تولید تغییر نمی‌کنند و می‌توانند بدون دخالت انسان به‌طور قابل اعتماد انجام شوند؛ این قضیه تا حدی به این دلیل است که ربات‌های صنعتی سنتی نسبتاً انعطاف‌ناپذیر هستند و برای ادغام در خطوط تولید به طراحی و تلاش برنامه‌نویسی گسترده نیاز دارند؛ یکپارچه‌کننده‌ها، که شرکت‌هایی هستند که این فرآیند یکپارچه‌سازی را انجام می‌دهند، اغلب برای ایجاد به‌روزرسانی‌های کوچک در خطوط تولید، که منجر به فرآیندهای یکپارچه‌سازی فناوری می‌شود که می‌تواند زمان و سرمایه بر باشد، مورد نیاز است؛ همچنین، رابط‌های برنامه‌نویسی ربات و پروتکل‌های ارتباطی در حال حاضر استاندارد نیستند و این به همراه سخت‌افزار و مشخصات ربات که بین شرکت‌ها متفاوت است، به چالش‌های یکپارچه‌سازی می‌افزاید. هر سیستم مختلف، به دانش و تخصص متفاوتی برای استفاده در ارتباط با سایر فناوری‌ها نیاز دارد؛ بنابراین، ربات‌های صنعتی اغلب صرفاً برای تولید با حجم بالا که در

شرکت‌های تولیدی بزرگ انجام می‌شود، مقرون به صرفه هستند و برای شرکت‌های کوچک و متوسط[1] که بر تولید با تنوع بالا و با حجم کم تمرکز می‌کنند، منطق اقتصادی کمتری دارند.
دوم، آخرین فناوری خود هنوز ممکن است محدودیت‌هایی داشته باشد؛ ربات‌های سبک وزن یا مشارکتی (کوبات‌ها) می‌توانند آنقدر کند یا دارای بار محدود باشند که برای برخی کاربردهای صنعتی منطقی نباشند؛ استفاده از رابط‌های برنامه‌نویسی ربات نیز اغلب دشوار است و به دانش برنامه‌نویسی گسترده نیاز دارد، که توانایی کارگران خط را برای تغییر کاربری آسان ربات‌ها برای بهبود کارایی یا برآورده کردن تقاضاهای در حال تغییر در فرآیندهای تولید محدود می‌کند؛ همچنین، فناوری‌ها و نرم‌افزارهای جدید و نوظهور هنوز نمی‌توانند برخی از وظایف کلیدی را انجام دهند؛ برای مثال، ربات‌ها هنوز در عملیات‌هایی که شامل گرفتن اشیاء است، مانند فرآیندهای جمع‌آوری زباله، توانایی بسیار کمتری نسبت به انسان‌ها دارند و سیستم‌های حسگری که ربات‌ها برای درک محیط اطراف خود استفاده می‌کنند، هنوز در استحکامی که می‌توانند در تنظیمات کارخانه به‌دست آورند، محدود هستند. طبق سناریوی فعلی، افزایش سریعی در استفاده از ربات‌ها در صنایع برای اهداف مختلف به‌منظور افزایش بهره‌وری و بیشتر ایمنی کارگران وجود دارد. ربات‌ها ممکن است به سازمان کمک کنند تا در یک بازه زمانی کوتاه توسعه یابد؛ اما از طرف دیگر، لازم است در مورد مشکلات مدیریت ربات بحث شود. ربات‌ها در مؤسسات آموزشی، انتقال دانش را با تجربه دستی در علم و فناوری، دانش زبان انگلیسی فراهم می‌کنند؛ زیرا ربات نقش معلم (ربات انسان‌نما) را ایفا می‌کند. تبدیل اتوماسیون به مرحله بعد با استفاده از ربات‌ها و روش‌های مختلف تولید مدرن، به کمک سیستم مدیریت پایگاه داده (اینترنت اشیا) است. در Industry 4.0، ربات-های صنعتی به‌عنوان یکی از محرک‌های مهم عمل می‌کنند؛ پیشرفت‌های فناوری در روش‌های سیستم بازوی رباتیک، همکاری آن با انسان و محیط بدون ساختار را بهبود بخشیده است. هدف این مقاله، بررسی مزایا و معایب ربات صنعتی در صنایع و نشان دادن کاربرد بازوی رباتیک در صنایع با همکاری انسان و نقش آن در موسسات آموزشی است.

۱ – مقدمه

* ربات‌ها برای مدت طولانی بخشی از سیستم‌های اتوماسیون بوده‌اند و در تصور عمومی، اغلب مترادف با اتوماسیون و انقلاب صنعتی هستند. حوزه رباتیک در صنعت که توسط Industry 4.0 و مفاهیم اینترنت اشیا و همچنین فناوری‌های نرم‌افزاری جدید تغذیه می‌شود، در حال حاضر به تنهایی دست‌خوش یک انقلاب شده است [۱۰۰]. رشته رباتیک صنعتی شامل مطالعه، طراحی و استفاده از سیستم‌های ربات برای ساخت و نحوه ادغام آن‌ها در خطوط تولید می‌شود؛ این رشته در چند دهه گذشته دست‌خوش پیشرفت‌های ثابتی بوده است؛ با این حال، در سال‌های اخیر، صنعت ۴,۰ یک روند بزرگ با هدف تبدیل اتوماسیون، وعده داده است که تغییرات قابل توجهی در قابلیت‌ها و طراحی رباتیک صنعتی ایجاد کند؛ صنعت ۴,۰ که انقلاب صنعتی چهارم نامیده می‌شود، می‌تواند با ارائه چارچوبی برای دیجیتالی کردن تولید و تلفیق فناوری‌های جدید و سنتی، بر

[1] SMEs

زنجیره‌های ارزش و تأمین بسیاری از صنایع تأثیر بگذارد. بانکداری بر روی فناوری‌های نوظهور و پیشبرد پیشرفت‌ها در فناوری اطلاعات و ارتباطات هوشمند، نوید آن را می‌دهد که چیزی را که محققان از آن به‌عنوان «کارخانه هوشمند» یاد می‌کنند، ایجاد کند؛ کارخانه‌ای که زیرساخت‌های فیزیکی و مجازی را ترکیب می‌کند و به‌طور یکپارچه از مشارکت‌ها استفاده می‌کند. رباتیک، محاسبات هوشمند و شبکه‌های دیجیتال با استفاده از اینترنت اشیا (IoT) و کلان داده برای ایجاد زنجیره‌های ارزش هوشمند و بهینه‌سازی تولید جزو این موارد است. میزان تغییر اکوسیستم روباتیک توسط Industry 4.0 بررسی شده است. در این گزارش، بینش‌های صنعت که جمع‌آوری شده‌است، به اشتراک گذاشته می‌شود و چالش‌های مربوط به حرکت به سمت صنعت ۴,۰، شرح داده می‌شود؛ سپس توصیه‌های تحقیقاتی و مروری جامع از آنچه در پیش است، ارائه می‌شود [۱۰۱]. پیشینه و انگیزه در طول تاریخ، بشر مجذوب ماشین‌ها و دستگاه‌هایی بوده است که می‌توانند عملکردها و حرکات موجودات زنده را تقلید کنند؛ در تمدن یونان باستان کلمه اتوماتوس برای اشاره به چنین وسایلی وجود داشت؛ اولین خودکار توسط قهرمان اسکندریه (۸۵ پس از میلاد) ساخته شد، که مکانیسم‌های متحرکی را ساخت که با دستگاه‌های هیدرولیک، قرقره‌ها و اهرم‌ها عمدتاً برای مقاصد مسخره حرکت می‌کردند؛ برای قرن‌های متمادی، مخترعان مختلف، از لئوناردو داوینچی گرفته تا ماشین بافندگی ژاکارد (در سال ۱۸۰۱)، آلبرت کبیر (۱۲۰۴-۱۲۸۲)، و راجر بیکن (۱۲۱۴-۱۲۹۴) خودکار ایجاد کردند. اتوماسیون را می‌توان پیشرو ربات‌های صنعتی مدرن در نظر گرفت. کلمه "ربات" برای اولین بار در سال ۱۹۲۱ استفاده شد، زمانی‌که نویسنده چک کارل کاپک (۱۸۹۰-۱۹۳۸) اثر خود را به‌نام ربات جهانی Rossum (R.U.R.) در پراگ منتشر کرد که درگیری طبقاتی را در جامعه‌ای با کارگران خودکار نشان می‌دهد؛ از آن لحظه به بعد، اصطلاح «ربات» توسط نویسندگان داستان‌های علمی تخیلی استفاده شد و در سال ۱۹۲۶، فیلم متروپلیس، سرانجام آن را در سراسر جهان محبوب کرد. آیزاک آسیموف برای اولین بار از اصطلاح "رباتیک" در کتاب‌های علمی تخیلی استفاده کرد که الهام‌بخش دانشمندان و مهندسان برای توسعه ربات‌های صنعتی اولیه بود؛ او مروج اصلی کلمه "ربات" بود. در عمل صنعتی، شیفتگی ماشین‌های شبیه انسان نقش مهمی ندارد؛ در عوض، ربات‌ها همیشه عنصری از اتوماسیون بوده‌اند و وظایف اصلی آن‌ها تسکین انسان است [۱۰۱]. یکی از جنبه‌های بسیار بحث‌برانگیز استفاده از ربات‌ها، امکان ایجاد خطوط تولید کاملاً خودکار است که منجر به کارخانه-های تقریباً بدون پرسنل و تهدیدهای جدی برای بازار کار، به‌ویژه در بخش کم صلاحیت می‌شود؛ در حالی‌که ربات‌ها به‌طور سنتی به-عنوان ماشین‌های مستقل در سلول‌های تولید محدود کار می‌کردند، اخیراً گرایشی به سمت رباتیک مشارکتی و تعامل ربات انسانی وجود دارد [۳۰۴]؛ این روند ارتباط نزدیکی با ایده Industry 4.0 و به‌طور کلی با مفاهیم IoT و اشیاء همکاری دارد؛ این توسط پیشرفت‌های اخیر در دنیای فناوری اطلاعات و الکترونیک صنعتی یا حتی علم مواد، تقویت شده است. فن‌آوری‌های فعال‌کننده حیاتی برای این روندها، به‌عنوان مثال، حسگرهای هوشمند [۳۰۵] برای درک بهتر از محیط یک ربات هستند. ارتباطات صنعتی [۳۰۶] برای بهبود تعامل و هماهنگی بلادرنگ نه تنها بین ربات‌ها بلکه با محیط اطرافشان و طیف وسیعی از محاسبات ابری و لبه‌ای که امکان کسب و پردازش اطلاعات را از هر دستگاه تا سطح سازمانی فراهم می‌کند، موجود است؛ در این زمینه، ارتباطات بی‌سیم نقش برجسته‌ای ایفا می‌کند، زیرا از تحرک ربات‌ها و همچنین گنجاندن حسگرها یا محرک‌ها در اطراف ربات واقعی پشتیبانی می‌کند [۳۰۷]. هدف این مقاله، ارائه مروری تاریخی بر تکامل رباتیک صنعتی از مراحل اولیه آن تا تحولات فعلی و روندهای آینده است؛ همچنین برخی از فناوری‌های ارتباطی و نرم‌افزاری مورد نیاز برای رباتیک مشترک مدرن را روشن می‌کند.

۲- متن بررسی

۲-۱- ربات‌های صنعتی

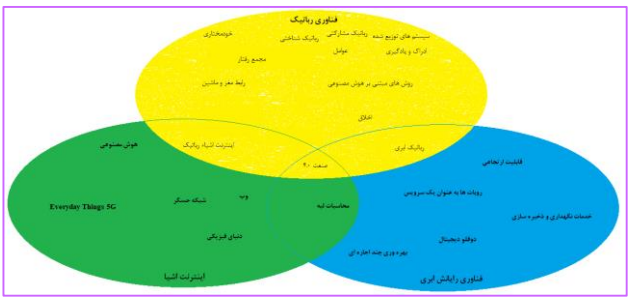
* ربات‌های صنعتی، طبق فدراسیون بین‌المللی رباتیک ۲، «دستکاری‌کننده‌های چند منظوره با قابلیت کنترل خودکار، قابل برنامه‌ریزی مجدد و قابل برنامه‌ریزی در سه یا چند محور» هستند، که در آن محورها به تعداد اتصالات متحرک اشاره می‌کنند؛ آن‌ها برای رسیدگی به برنامه‌های اتوماسیون خاص در شرکت‌های تولیدی، مانند چیدن و قرار دادن اشیاء طراحی شده‌اند. مونتاژ و بسته‌بندی، اتو کردن، برش یا جوشکاری و بازرسی محصول، از جمله. این ربات‌ها به‌طور سنتی برای رفع نیازهای خاص کارخانه‌ها یا شرکت‌هایی که آن‌ها را مستقر می‌کنند، برنامه‌ریزی شده‌اند؛ بسیاری از آن‌ها طوری طراحی شده‌اند که به‌جای یک کارگر انسانی، اعمال "کسل کننده، کثیف یا خطرناک" انجام دهند [۱ و ۱۰۰].

ربات‌های صنعتی کلاسیک ماشین‌های خودکار بزرگ و حجیمی هستند که معمولاً کارهای روزمره و تکرارپذیر را در داخل قفس انجام می‌دهند؛ در سال‌های اخیر، ربات‌های مشارکتی، که در زمینه‌های صنعتی برای تعامل ایمن با کارگران انسانی در محیط‌های کارخانه بدون نیاز به محفظه طراحی شده‌اند، به‌عنوان راه‌حل‌های رباتیک بالقوه سبک‌تر، الگوریتمی‌تر و مقرون به صرفه‌تر ظاهر شده‌اند.

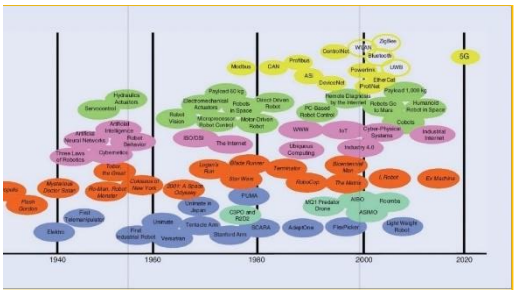
ربات‌های مشارکتی می‌توانند به حسگرها یا سایر فناوری‌های بصری پیشرفته برای تشخیص انسان مجهز شوند؛ در حالت ایده آل، می توان آن‌ها را برای انجام وظایف و خدمات جدید دوباره برنامه‌ریزی کرد؛ آن‌ها معمولاً بازوهای رباتیک هستند [۱]؛ در حالی‌که ربات‌های مشارکتی به اندازه انواع کلاسیک گسترده نیستند، این سیستم‌های جدید و همه‌کاره با اجازه دادن به شرکت‌های کوچک برای استفاده از اتوماسیون با هزینه کمتر، نوید انقلابی در تجارت را می‌دهند [۲و ۱ و ۱۰۰].

۲-۲- طبقه‌بندی ربات‌های صنعتی

* شکل ۱ با شروع از اجداد ربات‌ها، به‌عنوان مثال، جدول زمانی تکامل رباتیک صنعتی را همراه با برخی از ربات‌های معروف و نقاط عطف مربوط به فناوری‌ها و علوم مرتبط با رباتیک ارائه می‌دهد. دستاوردهای اصلی و استانداردهای ارتباطی مربوط به رباتیک صنعتی به‌طور جداگانه نمایش داده می‌شود؛ این شکل همچنین شامل جدول زمانی انتشار برخی از فیلم‌های نمادین در زمینه رباتیک است؛ این فیلم‌ها هنرهای علمی تخیلی هستند، اما درک عمومی از رباتیک را در طول دهه‌ها ایجاد کردند [۱۰۱]. تکامل کنونی و کوتاه‌مدت رباتیک صنعتی را می‌توان در شکل ۳ مشاهده کرد. نصب ربات‌های صنعتی در حال رشد است، با افزایش بالایی که در سال ۲۰۲۰ و در دو سال آینده پیش‌بینی شده است. بیشترین رشد در آسیا (۱۰,۹ درصد) و پس از آن آمریکا (۸,۴ درصد) و اروپا (۶,۳ درصد) پیش‌بینی می‌شود؛ چین همچنان پیشتاز نصب ربات‌های صنعتی است، بنابراین به همراه ژاپن و کره جنوبی، به افزایش بزرگ در آسیا کمک می‌کند. بازار فزاینده خودروسازی و الکترونیک، بیشترین رشد را در سال گذشته در نصب ربات در آسیا همراه با تولید همچنان در حال ظهور در چین ایجاد کرد. شکل ۲ (d) همچنین رتبه‌بندی تراکم ربات را گزارش می‌دهد، یعنی تعداد ربات‌های صنعتی مستقر در هر کارگر در کشورهای مختلف [۱۰۱].



شکل ۱- زمینه‌های فناوری تأثیرگذار بر رباتیک مدرن. هوش مصنوعی: هوش مصنوعی M2M: ماشین به ماشین [۱۰۱]



شکل ۲- جدول زمانی برخی از جنبه‌های قابل توجه در رباتیک [۱۰۱]

در سطح جهان، صنعت خودروسازی با افزایش جذاب ۲ درصدی نسبت به سال گذشته، در تعداد واحدهای نصب شده در کارخانه‌های لوازم خودرو و خودرو پیشتاز است، در حالی‌که صنعت برق/الکترونیک پیشرو نیز ۱۴ درصد کاهش نشان می‌دهد؛ شایان ذکر است افزایش ۳۲ درصدی واحدهای صنایع غذایی، شامل تولید نوشابه و دخانیات می‌شود؛ سایر صنایعی که رشد زیادی دارند عمدتاً مربوط به کشاورزی، معدن، ساخت و ساز و آموزش هستند؛ مانند صنعت عمومی، صنعت ربات اختصاص داده شده به تولید ربات، افزایش عظیمی را برای سال‌های آینده پیش‌بینی می‌کند. امروزه ربات‌ها به‌طور گسترده‌ای در صنعت استفاده می‌شوند و عنصری ضروری در اکثر فرآیندهای تولید هستند [۱۰۱].

۲-۳- INDUSTRY 4.0: یک فشار استراتژیک برای تولید پیشرفته

* در سال ۲۰۱۱، دولت آلمان اصطلاح "صنعت ۴,۰" را برای توصیف یک چشم‌انداز استراتژیک برای پیشرفت تولید ابداع کرد. چشم‌انداز این است که تولید را با پل زدن سیستم‌های دیجیتال و فیزیکی و اتصال فن‌آوری‌ها، محصولات و خدمات کلاسیک و پیشرفته در محیط‌های صنعتی بهبود بخشد. Industry 4.0 وابسته به دیجیتالی کردن و ارتباطات است و یک کارخانه به هم پیوسته را ترویج می‌کند که می‌تواند از تجزیه و تحلیل بلادرنگ داده‌های جمع‌آوری شده برای بهینه‌سازی تولید استفاده کند [۱۰۰].

چارچوب و استراتژی، که ابتدا در نتیجه تصدیق و واکنش دولت آلمان به دیجیتالی شدن تولید پدیدار شد، با هدف ایجاد یک پیشرفت در نوآوری در تولید بود؛ با این امید که بتواند به‌عنوان یک محرک اقتصادی و فناوری برای بهبود و ساده‌سازی دیجیتالی‌سازی تولید در سطح جهانی عمل کند، Industry 4.0 به سرعت توسط سایر کشورهای اروپایی و بین‌المللی مورد استفاده قرار گرفت [۱۰۰ و ۳ و ۴]. آلمان با همکاری بسیاری از سازمان‌های آلمانی و سازمان‌های کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه، برای اطمینان از آمادگی متقابل و انتقال آرام به سمت صنعت ۴,۰,۵ این کار را

برای توسعه فناوری‌هایی ایجاد کرد که می‌توانند سیستم‌های فیزیکی سایبری (CPS) را بیشتر تقویت کنند [۵ و ۶].

CPS فرآیندهای فیزیکی و مهندسی شده در یک عملیات تولیدی هستند که از طریق یک شبکه متصل از الگوریتم‌های مبتنی بر کامپیوتر، ارتباطات و فناوری‌های شبکه، نظارت، هماهنگی، کنترل و ادغام می‌شوند؛ فرآیندهای در حال انجام آن، ارائه و استفاده همزمان از خدمات دسترسی به داده و پردازش داده‌های موجود در اینترنت ۷. CPS برای اجرای Industry 4.0 حیاتی بوده و باقی می‌ماند؛ زیرا اعتقاد بر این است که آن‌ها به سطح عملیاتی بالاتری منجر می‌شوند. بهره‌وری و به‌هم پیوستگی در داخل کارخانه‌ها که منجر به افزایش تولید و به نوبه خود رشد کلی اقتصادی می‌شود. در چارچوبی که آلمان ایجاد کرد، CPS، رباتیک و فناوری‌های ارتباطی مبتنی بر اینترنت اشیا (IoT) محور هستند [۱۰۰ و ۷].

۲-۴- بررسی استانداردهای ایمنی در رابطه با همکاری ربات‌های انسانی

* با در نظر گرفتن رابط ربات انسانی در صنعت ۴,۰، جنبه‌های ایمنی در رابطه با انسان و ربات نیز وجود دارد؛ بنابراین، دستورالعمل‌های صنعتی که این خطرات مرتبط با ربات‌ها را برای کارگران ادغام می‌کند، شامل استاندارد بین‌المللی ISO 10218 (الزامات ایمنی برای ربات‌های صنعتی) و مشخصات فنی ISO/TS 15066:2016 با هدف اصلاح و ارتقای نیاز جزئی ارائه‌شده در استاندارد موجود است (ISO 10218). استانداردهای آمریکایی و اروپایی بر اساس ISO ۱۰۲۱۸ و TS15066 توسعه یافته‌اند؛ استاندارد آمریکایی ANSI/RIA R15.06، استاندارد اروپایی EN 775 برگرفته از ISO 10218 و استانداردهای ملی نسبتاً اسپانیایی UNE-EN 755 از EN 755 توسط انجمن عادی‌سازی و صدور گواهینامه اسپانیا ارائه شده است؛ برای جلوگیری از بدبختی‌ها، انتخاب یک سیستم ایمنی باید پس از بررسی خطرات ذکر شده باشد؛ به‌طور کلی، فضاهای کاری ربات و انسان باید بر اساس سیستم‌های ایمنی قبلی جدا شوند. ادغام سیستم‌های حسگر برای جلوگیری از ورود فرد به منطقه ناامن، که خطری برای کارگران محسوب می‌شود؛ زیرا ربات‌ها در شرایط عملیاتی قرار دارند؛ بنابراین این جداسازی در استاندارد UNE-EN ۷۵۵:۱۹۹۶ تغییر مسیر داد [۸ و ۱۰۲].

طبق اخلاق مرسوم، کارمندان مجاز فقط در مواقعی‌که ربات در حالت خودکار نیست، مجاز به حضور در محل کار ربات هستند. تلاش برای تولید بهتر و شایسته، تغییرات قابل توجهی را در صنعت ایجاد می‌کند. آلمان عمدتاً اصلاحات تولید خودکار را به صنعت ۴,۰ ادغام کرده است، یا ایالات متحده امریکا کارخانه‌های هوشمندی را بر روی تکامل سیستم‌های جدید که پیشرفت‌های فنی مدرن در تخصص اطلاعات و ارتباطات[۲] تجزیه و تحلیل داده‌ها و اجزاء را به‌عنوان حسگرها یا ربات‌ها پرورش داده است [۹]؛ این انقلاب‌ها باعث می‌شوند آزمایش‌های انجام‌شده توسط ربات‌ها در صنایع دیگر روی قطعات یا سایر کارهای تکراری محدود نشود؛ به‌عنوان یک جایگزین، می‌دانیم که افزایش شدید وظایفی وجود دارد که در آن انسان‌ها و ربات‌ها مهارت‌های خود را برای کارهای دوطرفه مانند خط مونتاژ مرتبط می‌کنند. برای فعال کردن کار ترکیبی اسمی انسان و ربات، همان‌طور که قبلا ذکر شد، برای پایان دادن به موانع ضروری است؛ به‌عنوان یک جایگزین، انواع مختلفی از اقدامات حفاظتی باید برای جلوگیری از حوادث با تشخیص اشیا و سیگنال، انجام اقدامات احتیاطی مورد نیاز آشنا شود و آسیب به انسان به‌دلیل ضربه غیرمنتظره یا اجتناب‌ناپذیر به حداقل برسد. مطابق به‌روز رسانی ISO 10218 از سال ۲۰۰۶، انحرافات در شیوه‌های کاری در صنایع تکرار شده است [۱۰] و قوانین اجرای مقررات [۱۱ و ۱۰۲]. ادراکات جدید با مفاهیم عملیات هماهنگ، محیط کار، ربات‌های مشارکتی از اهمیت مستقیمی برای این بررسی برخوردار هستند. نسخه جدید استاندارد ISO 10218-1 [۱۴] و ISO 10218-2 [۱۱] به تعاریف فوق توجه دارند و اطلاعاتی را در مورد نیازهای عملیاتی ترکیبی و انواع کار پشتیبانی ارائه می‌دهند. موارد قبلی شامل کنترل‌های راه‌اندازی، اجرای سیستم حفاظتی، کاهش سرعت حرکت، مدیریت سرعت می‌شود، در حالی‌که سیستم بعدی به‌عنوان مثال راهنما، پنجره رابط و فضای کاری مایل را در خود جای می‌دهد. استاندارد بین‌المللی ISO: 8373-2012 [۱۲] اصطلاحات مورد استفاده را مطابق با ربات‌ها و دستگاه‌های رباتیکی که در محیط‌های صنعتی و غیر صنعتی کار می‌کنند، ذکر می‌کند. در اینجا، عبارات جدید با توجه به پیشرفت وظایف مشترک مختلف در تولید و سایر وظایف، مانند تعامل انسان و ربات و ربات‌های مهمان‌نواز، علاوه بر اصطلاحات مرسوم مانند ربات و سیستم کنترل، مشخص می‌شوند. اطلاعات فنی به‌روز ISO/TS 15066:2016 [۱۳ و ۱۰۲] تمایل دارد که الزامات و جهت را در ISO 10218 برای هدف انسان-ربات القا کند. نحوه پیشرفت استانداردها در ده سال گذشته نشان‌دهنده انحراف معاصر به سمت تحقیقات شناخته شده در همکاری ربات انسان[۳]مطابق با هنجارهای صنعت است. در چند دهه اخیر، انواع مختلفی از ربات‌ها وظایف مشترکی را با انسان انجام می‌دهند (مانند ربات‌های خدماتی، ربات‌های کمک انسان و حسگرها)، در کل ربات‌های فوق از نظر کاربرد در مقایسه با ربات‌های مکانیزه مورد استفاده برای خدمات

[۲] ICTs

[۳] HRC

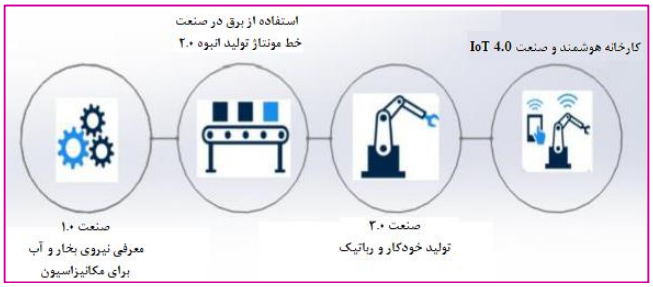
مهندسی متفاوت هستند و در این مورد بحث نشده است. مقالاتی در زمینه ایمنی همکاری ربات انسانی منتشر شده است [۱۴ و ۱۵ و ۱۰۲]؛ در مورد بازنگری سیستم‌های حفاظتی پیشرفته شامل ربات‌های آموزشی، سیستم‌های مورد استفاده برای ثبت حرکات و فضای کاری تکراری، انواع متعددی از سیستم‌های بینایی و روش‌های ترکیبی از اطلاعات بصری را در این مقاله بر اساس بررسی‌های گذشته ارائه شده است.

شکل ۳- ساختار مقاله [۱۰۲]

۲-۵- بررسی ربات‌ها در بخش آموزش

❋ ربات‌ها به‌تدریج شروع به ادغام در زندگی روزمره خانواده‌ها و مدارس کردند. فناوری ربات، برای کودکان و جوانان اهمیت بیشتری دارد، زیرا فناوری ربات را می‌توان به‌طور معقولی با کمک ربات‌ها بهبود و گسترش داد؛ در واقع، باید بر نحوه ادغام بهترین ربات‌های آموزشی در زندگی کودکان و بزرگسالان تاکید بیشتری شود؛ با پیشرفت مستمر تخصص، مایل به تجزیه و تحلیل آینده‌نگر ربات‌ها به‌عنوان یک ابزار مکمل موثر برای آموزش است. ربات‌ها می‌توانند بستر جالبی برای کاوش در مطالعات مهندسی مانند علوم کامپیوتر، الکترونیک و ماشین‌آلات باشند؛ بر اساس گزارش، ثابت شده است که کودکان در بازرسی‌های پس از یادگیری، به‌خوبی عمل می‌کنند و حس کنجکاوی دانش‌آموزان را برای یادگیری زبان با کمک ربات‌ها به‌جای کتاب و ضبط در نوار کاست تحریک می‌کند [۱۶ و ۱۰۲].

ربات‌های آموزنده، زیرمجموعه‌ای از فناوری آموزشی هستند که یادگیری را آسان کرده و آموزش دانش‌آموزان را افزایش می‌دهند. ربات‌ها برای اطمینان از بازتاب و مقیاس‌پذیری رابط اجتماعی در محیط یادگیری، به‌گونه‌ای که در یادگیری صرفاً برنامه‌ای پیشرفت کنند، فراهم می‌کنند؛ بدیهی است که همه ربات‌های آموزنده شامل تعامل جمعی نیستند، که بعداً به تفصیل در این مقاله، ربات‌ها در آموزش مورد بحث قرار خواهد گرفت. در این مقاله به تحلیل زمینه توسعه پایدار ربات‌ها برای اهداف آموزشی پرداخته می‌شود. هدف از بررسی مقاله، این است که در ابتدا یک طرح کلی در مورد رباتیک در آموزش ارائه شود؛ زیرا ادبیات مربوط به ربات‌ها بسیار کمتر است؛ مرور مقاله [۱۷] و [۱۸] تنها منبع موجود برای مطالعه هستند؛ اولین مورد در سال ۱۹۹۶ راه‌اندازی شد، زیرا رباتیک در مرحله ابتدایی خود بود؛ مورد دوم فقط بر روی مطالعات موردی متمرکز است، حتی اگر جدید باشد (بنابراین هیچ سطح متا وجود ندارد)؛ فقط به دانش آموزان نگاه می‌کند. واضح است که می‌توان از ربات‌ها برای اهداف غیر فنی استفاده کرد؛ این تصویر طوفان فکری لگو است. مروری بر رباتیک (به‌طور دقیق تر رباتیک اجتماعی) وجود دارد که رباتیک آموزشی را در نظر می‌گیرد، اما نه در مقیاس بزرگ؛ این امر محققین رباتیک دانشگاهی را قادر می‌سازد تا اکتشافات خود را به‌صورت تحلیلی ارزیابی کرده و آن را به اندازه‌گیری‌های مناسب دسته‌بندی کنند؛ به‌عنوان مثال، با انتخاب سؤالات تحقیقی مناسب، رفتارهای رباتیک برای رویدادهای آموزشی خود، یا کیت‌های رباتیک مناسب [۱۹ و ۱۰۲]. تحقیقات در این زمینه، فضای وسیعی را در بر می‌گیرد و فرهنگ‌های مختلف، گروه‌های سنی زبان‌آموزان، انواع ربات‌ها و تخصص را در بر می‌گیرد؛ بنابراین، روش متا سطح خواهد بود.



شکل ۴- مراحل انقلاب صنعتی [۱۰۲]

۲-۶- اهداف مطالعه

❋ در این خلاصه، بازتاب‌ها و بینش‌های شرکت‌های کلیدی رباتیک اروپایی و سایر سازمان‌های مرتبط در آلمان، فرانسه و ایتالیا به نمایش گذاشته می‌شود؛ انتخاب مربوطه شامل سازندگان و ادغام‌کننده‌های رباتیک، سازندگان تجهیزات اصلی[۴] که از فناوری‌های رباتیک برای تولید استفاده می‌کنند و مؤسسات تحقیقات صنعتی کاربردی، که در تحقیقات مرتبط با فناوری‌های جدید که در صنعت ۴,۰ مرکزی هستند، سرمایه‌گذاری می‌کنند و ما به‌عنوان بخشی از این پژوهش، نظرات آن‌ها را عنوان کرده‌ایم؛ بررسی کردیم که سازندگان با چه سؤالاتی دست و پنجه نرم می‌کنند؛ آن‌ها با چه فناوری‌های نوظهوری آزمایش کردند؛ اشکال مختلف تعاملی که آن‌ها اتخاذ کردند یا امیدوار بودند که ربات‌های خود را انعطاف‌پذیرتر و متحرک‌تر کنند؛ تا چه حد امکان همکاری بین کارگران انسان و ماشین در محیط کارخانه و تحقیقات آن‌ها وجود داشته است و در نهایت برخی از الزامات آن‌ها برای به‌کارگیری برخی فناوری‌ها و سناریوهای پیشرفته چه بوده است [۱۰۰ و ۱۸]. هدف اصلی تحقیق،

[۴] OEM

برداشتن یک گام به عقب و بررسی وضعیت هنر رباتیک صنعتی و مشارکتی و همچنین فناوری‌های اتصال مبتنی بر اینترنت اشیا در حال استفاده در این شرکت‌ها به‌منظور ارزیابی میزان پیشرفت استفاده از این فناوری‌ها بوده است؛ طی ۱۰ سال گذشته (از زمان معرفی Industry 4.0)، محرک‌های اولیه نوآوری‌ها چه بوده‌اند، شرکت‌ها با چه تنگناهایی در معرفی فناوری‌های جدید مواجه بوده‌اند و شرکت‌ها چه چالش‌ها و مسیرهای بعدی را برای آینده در نظر می‌گیرند؛ جنبه‌های بسیاری از این موضوعات بررسی شده است؛ چه چیزی باعث تغییر به سمت اتوماسیون شد؟ برخی از پیشرفت‌های قابل اندازه‌گیری در بهره‌وری، کارایی یا کیفیت که از این تغییرات به‌وجود آمده‌اند کدامند؟ برخی از معیارهایی که این شرکت‌ها برای ارزیابی ارزش ادغام رباتیک استفاده کردند چیست؟ برخی از بزرگ‌ترین چالش‌هایی که شرکت‌ها با آن‌ها روبرو بوده‌اند، چیست؟ و چگونه فناوری‌های خاصی را برای برآوردن نیازهای خود تطبیق دادند؟ برخی از مشکلات حل نشده در رابطه با ادغام رباتیک چیست؟ و چگونه صنعت رباتیک و محققان می‌توانند برای حل آن‌ها با هم همکاری کنند؟ علاوه بر این، روند معرفی رباتیک و فناوری‌های مرتبط مانند سیستم‌های ایمنی، مکانیزم‌های حس و ادراک، یادگیری عمیق، بررسی شده است؛ واقعیت مجازی و افزوده و محاسبات ابری در فرآیندهای تولید و خطوط تولید، مدنظ است؛ همچنین نظرات حاصل از پرسیدن از شرکت‌ها در مورد انتظارات اولیه، نگرانی‌های ماندگار، موانعی که هنگام ادغام سیستم‌های رباتیک و بهینه‌سازی تولید با آن‌ها مواجه می‌شوند و برخی از راه‌های فناوری آینده فوری که در رباتیک و اینترنت اشیا در حال بررسی هستند، مورد توجه است؛ یکی از نگرانی‌های اصلی بسیاری از شرکت‌ها، مربوط به هزینه‌های بالای ادغام فناوری‌های رباتیک در خطوط تولید است، حتی با کاهش قیمت‌های خود ربات‌ها [۱۹]؛ شرکت ها در مورد زمان و منابع مالی مورد نیاز برای فرآیند یکپارچه-سازی ابراز نگرانی کردند؛ همچنین تأثیر استانداردسازی یا فقدان آن بر تمایل شرکت‌ها به پذیرش فناوری‌های خاص، تحلیل شده است؛ استانداردسازی فرآیند حصول اطمینان از انطباق سخت‌افزار و نرم-افزار مورد استفاده در یک صنعت با مجموعه‌ای از دستورالعمل‌ها است؛ استانداردها ثبات، یکنواختی، ایمنی، قابلیت همکاری و سازگاری را در بین عملیات تضمین می‌کنند؛ فناوری همیشه در حال پیشرفت است؛ اما قابل مشاهده است که فقدان استانداردهای طراحی و امنیتی، بسیاری از شرکت‌ها را از تجربه کامل مزایای بسیاری از فناوری‌های جدید یا توجیه ریسک‌های سرمایه‌گذاری باز داشته است. عدم وجود زبان‌های برنامه‌نویسی یکپارچه، رابط‌ها یا پروتکل‌های ارتباطی برای سخت‌افزار، یک چالش مرتبط است؛ ارتباط متقابل فناوری‌هایی که توسط اینترنت اشیا و سیستم‌های ابری امکان‌پذیر شده‌اند، هنوز بسیار محدود است و تنگناهای مربوط به فناوری‌های حس، ادراک، بینایی و فن‌آوری‌های گیرا هنوز وجود دارد؛ علاوه بر این، زیرساخت‌های داده و فرآیندهای مدیریت داده بهتر برای تحقق بخشیدن به پتانسیل کامل داده‌های جمع‌آوری‌شده از طریق فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیا مورد نیاز است؛ به‌نظر می‌رسید که این و سایر عوامل برای اتخاذ اتوماسیون حیاتی باشند. صفحات بعدی مطالعه، برخی از بینش‌های کلیدی حاصل از تحقیقات، آوردن گوشه‌ای از نظرات صاحبان کارخانه‌ها را به تفصیل شرح می‌دهد [۱۰۰].

۲-۷- تکامل رباتیک و صنعت

* امروزه بسیاری از صنایع به ربات‌ها و اتوماسیون در تاسیسات تولیدی متکی هستند؛ با تکامل ربات‌ها و فناوری‌هایی که عملکردشان را مدیریت می‌کنند، چالش‌هایی در مورد چگونگی ایمن‌تر کردن، سازگارتر کردن ربات‌ها، استفاده آسان‌تر توسط کارگران کمتر ماهر، پاسخ‌دهی بیشتر به محیط و کارگران اطراف، وصل شدن بیشتر به چرخه‌های تولید و بهتر کردن ربات‌ها ایجاد می‌شود؛ در خطوط تولید یکپارچه‌سازی شده است؛ پیشرفت‌ها و اختراعات جدید در این زمینه، به‌طور مداوم انجام می‌شود و بسیاری از تولیدکنندگان امیدوارند که هزینه‌های معرفی اتوماسیون و سیستم‌های رباتیک جدید را برای زیرساخت‌های موجود و جدید ساده‌سازی و کاهش دهند؛ جدای از پیشرفت‌ها در فناوری‌های ارتباطی و اطلاعاتی که ربات‌ها را به محیط اطراف و به یکدیگر متصل می‌کند، محققان سخت تلاش کرده‌اند بر محدودیت‌های عملکرد، سرعت، تحرک و انعطاف‌پذیری ربات‌ها غلبه کنند [۱۰۰]؛ اما برای اینکه صنایع بتوانند فناوری‌های کنونی، در حال تکامل و آینده را جذب کنند، چه یک بازوی ربات سبک وزن یا یک وسیله نقلیه هدایت‌شونده خودکار و آن‌ها را در عملیات بزرگ‌تر ببافند، این فرآیند باید روان، از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه باشد؛ خود ربات و عملکرد آن تنها یک عامل در این اکوسیستم پیچیده است.

۲-۸- قیمت ادغام

* ادغام، در زمینه رباتیک صنعتی، فرآیند معرفی و ادغام سخت‌افزار رباتیک، تجهیزات جانبی، نرم‌افزار و پشتیبانی از فناوری در یک خط تولید یا تولید برای خودکارسازی آن است؛ هنگامی‌که شرکت‌ها تصمیم می‌گیرند ربات‌ها را در خطوط تولید خود ادغام کنند، اغلب هدفشان بهینه‌سازی عملکرد، صرفه‌جویی در هزینه و زمان و بهبود کیفیت محصولات است [۱۰۰].

در ساده‌ترین شکل، یکپارچه‌سازی فرآیند نصب یک بازوی رباتیک در یک خط تولید است؛ فرآیند یکپارچه‌سازی شامل برنامه‌ریزی ربات برای انجام یک کار خاص، در پاسخ به مکانیسم‌های سیگنال‌دهی خارجی (به‌عنوان مثال، یک کنترل‌کننده منطقی قابل برنامه‌ریزی[۵] یا یک حسگر تشخیص بخشی است. در سناریوهای پیشرفته‌تر، یکپارچه‌سازی می‌تواند شامل راه‌اندازی چند ربات در یک خط تولید برای یک کار پیچیده باشد، که می‌تواند به چندین ربات نیاز داشته باشد تا در یک محصول بزرگ (مثلاً روی فرآیند "بدنه در سفید" در تولید خودرو، به‌طور هماهنگ با دیگران عمل کنند.). بسیاری از شرکت‌ها در حال حاضر برای یکپارچه‌سازی اتوماسیون و طراحی سلول‌های کاری، که اغلب شامل قفس‌هایی در اطراف ربات‌ها می‌شوند که پارامترهای فضای کاری آن‌ها را تعیین می‌کنند، به یکپارچه‌سازهای خارجی، که بسیاری از آن‌ها تولیدکنندگان ربات‌های بزرگ هستند، متکی هستند؛ در حالی‌که سخت‌افزار ربات به‌طور قابل توجهی ارزان‌تر شده است، هزینه ربات کسر کوچکی از قیمت کلی معرفی اتوماسیون به یک خط تولید است؛ یکی از شرکت‌های بزرگ، یکپارچه‌ساز معروف سیستم‌های رباتیک و مشارکتی، به‌سادگی می‌گوید: ربات‌ها اکنون ارزان هستند، اما یکپارچه‌سازی این‌طور نیست؛ در واقع، فرآیند یکپارچه‌سازی می‌تواند طولانی، دشوار و پرهزینه باشد؛ یکپارچه‌سازهایی هستند که سلول‌های کاری را طراحی می‌کنند و مهندسانی با مهارت‌های برنامه‌نویسی گسترده، که برای انجام عملکردهای مورد نظر ربات مورد نیاز است؛ حتی تغییرات کوچک در یک خط تولید می‌تواند نیازمند فراخوانی از یکپارچه‌کننده‌ها برای طراحی مجدد و تغییر کاربری سلول‌های کاری ربات برای برآورده کردن مشخصات وظایف جدید باشد [۱۰۰].

هم هزینه‌های اولیه و هم هزینه‌های نگهداری می‌تواند ادغام رباتیک را برای شرکت‌های کوچک و متوسط گران‌تر کند؛ بنابراین، ربات‌هایی که می‌توانند مجدداً پیکربندی، برنامه‌ریزی و وظیفه مجدد انجام شوند، یک مزیت اضافی برای شرکت‌ها هستند، به‌طوری‌که ربات‌های آن‌ها در طول زمان برای فرآیندهای مختلف تولید و در خطوط تولید مختلف قابل استفاده مجدد هستند؛ بر اساس مصاحبه‌ها و تحقیقات گسترده انجامی، واضح است که شرکت‌ها به‌ویژه در مورد هزینه‌های یکپارچه‌سازی و همچنین بازگشت سرمایه در هنگام تصمیم‌گیری در مورد خرید فناوری‌های جدید سرمایه‌بر نگران هستند؛ بسیاری از شرکت‌ها هزینه‌های بالای یکپارچه‌سازی را به‌عنوان مانعی در راه استقرار اتوماسیون ذکر کردند؛ از یک سو، تولیدکنندگان بزرگ که از ربات‌های صنعتی بزرگ استفاده می‌کنند، می‌توانند با تلاش برای ادغام فناوری‌ها و زیرساخت‌های ۱۵ تا ۲۰ ساله موجود با فناوری‌های رباتیک جدید و نوآورانه در همان خط تولید، سنگینی کنند؛ از سوی دیگر، شرکت‌های کوچک و متوسط، با فرآیندهای تولیدی که در مقیاس کوچک‌تر اجرا می‌شوند، اغلب هزینه‌های یکپارچه‌سازی را به‌دلیل اندازه‌های تولید کوچک‌تر، بازدارنده یا غیرقابل توجیه می‌دانند؛ این به این دلیل است که ربات‌ها در زمینه تولید در حال حاضر عمدتاً برای انجام وظایف خاص برنامه‌ریزی شده‌اند و هر تغییری در فرآیند مونتاژ، اغلب مستلزم برنامه‌ریزی مجدد ربات‌ها یا حتی تعمیرات اساسی خط تولید یکپارچه است [۱۰۰ و ۱۹].

فراتر از این نگرانی‌های خاص در مورد هزینه‌های یکپارچه‌سازی، تصمیم‌گیری در مورد پذیرش اتوماسیون به‌طور قابل پیش‌بینی به عوامل اقتصادی دیگر، مانند هزینه‌های مربوط به خرید سخت‌افزار و زمان سرمایه‌گذاری شده برای راه‌اندازی ربات‌ها، حمل‌ونقل، برنامه‌نویسی و مالیات خلاصه می‌شود. در اروپا، قوانین کار قوی که خطر جابجایی کارگران را کاهش می‌دهد (که در آن کارگران سال-خورده با خطر بیشتری روبرو هستند)، به‌دلیل اتوماسیون نیز نقش مهمی ایفا می‌کند؛ با این حال، تعدادی از شرکت‌هایی که با آن‌ها صحبت شده است، اشاره کردند که با کمبود نیروی کار مواجه هستند و در تلاشند تا راه‌های جدیدی برای خودکارسازی ایجاد کنند، به‌ویژه که موجی از بازنشستگی در نیروی کار پیرشان در راه است؛ نیروی کار مسن همچنین تمرکز بر نیازهای ارگونومیکی را نامیده است، زیرا اشکال کمکی بیشتر اتوماسیون می‌تواند خطر صدمات ناشی از کارهای روزمره و از نظر فیزیکی را کاهش دهد [۱۰۰].

در حالی‌که تعدادی از شرکت‌ها اشاره کردند که محاسبات جابه‌جایی نیروی کار هنوز در تصمیم آن‌ها برای خودکارسازی نقش دارد؛ تعداد کمی نشان دادند که این معیار قدیمی است، به‌ویژه با ظهور سیستم‌های مشارکتی. ارگونومی، کنترل کیفیت و کاهش املاک و مستغلات اشغال شده توسط ربات‌ها نیز ملاحظات مهم بسیاری از آن‌ها بود، اگرچه شاید در محاسبه هزینه ثانویه باشد. در تصمیم‌گیری برای خودکارسازی و نحوه ادغام راه‌حل‌های خودکار، شرکت‌ها عمدتاً یکی از دو رویکرد را اتخاذ کردند: رویکردهای «بالا به پایین» که به نفع تطبیق وظایف با قابلیت‌های اتوماسیون موجودشان است و رویکردهای «پایین به بالا» که برای نوآوری و نوآوری باز هستند. پذیرش قابلیت‌های اتوماسیون نوظهور برای برآوردن نیازهای صنعتی کارخانه‌ها دومین امکان پذیرش را فراهم کرد. فناوری‌های جدید بیشتر در سال‌های اخیر و شرکت‌هایی که از این استراتژی استفاده می‌کنند، عموماً مبتکرتر و خلاق‌تر در تطبیق این فناوری‌ها با نیازهای خود بودند؛ به‌نظر می‌رسد موفقیت و کارایی یک رویکرد از

[۵] PLC

پایین به بالا با ادغام بهتر با کارگران خط ارتباط دارد که معمولاً دانش عمیق‌تری از فرآیندهای تولید دارند و می‌توانند پتانسیل نوآوری را قضاوت کنند؛ با این رویکرد، کارکنان خط در شناسایی مشکلات و چالش‌ها پیش‌قدم می‌شوند، ناکارآمدی‌ها کجاست و چگونه فناوری می‌تواند وارد شود و راه‌حلی ارائه دهد [۱۰۰ و۲۰].

به‌نظر می‌رسید که رویکرد از بالا به پایین منسوخ شده باشد، زیرا مستلزم فرضیات ثابتی در مورد نقش فناوری در کارهای تولیدی بود (به‌عنوان مثال، ربات‌ها قطعات را با دقت بالا در سلول‌های کاری در قفس، به دور از کارگران انسانی قرار می‌دهند). استفاده از یک رویکرد از بالا به پایین می‌تواند منجر به از دست دادن نقطه نظر یک فناوری جدید یا عدم بهره‌برداری کامل از پتانسیل آن شود؛ یک مثال از این ممکن است شامل استفاده از یک ربات مشارکتی برای انجام یک کار با دقت بالا در پشت قفس و دور از کارگران انسانی باشد، در حالی‌که در واقع می‌توان از آن برای کار در نزدیکی بیشتر به انسان و انجام کارهای مختلف استفاده کرد؛ در هر دو رویکرد، شرکت‌های تولیدی به‌طور خاص علاقه‌مند به استفاده از فن‌آوری‌های رباتیکی بودند که رابطهای بصری دارند؛ چنین رابطهایی می‌توانند انعطاف‌پذیری را بهبود بخشند و هزینه‌های یکپارچه‌سازی را کاهش دهند (مخصوصاً برای کارهای پیچیده یا غیر تکراری)؛ این نوع ادغام فناوری به کارگران خطی که فاقد تخصص مهندسی یا برنامه‌نویسی پیشرفته هستند، اجازه می‌دهد تا ماشین‌ها را کار یا برنامه‌ریزی مجدد کنند [۱۰۰].

۲-۹- ارزش کارگران کارخانجات

* بسیاری از شرکت‌هایی که نظراتشان در این تحقیق عنوان شده است، بر اهمیت نقش‌ها و ظرفیت‌های کارگران باتجربه خط که به‌خوبی فرآیندهای تولید خود را می‌دانند، از جمله اینکه چگونه این فرآیندها ممکن است بهبود یابند، تأکید کردند؛ به‌نظر می‌رسد دیدگاه و صدای کارگران برای فرآیند ترکیب اتوماسیون و رباتیک مشارکتی در درجه اول در شرکت‌هایی که از ذهنیت‌های پایین به بالا استفاده می‌کنند، صرف‌نظر از اندازه، حیاتی است؛ این شرکت‌ها به‌جای تلاش برای جایگزینی کارگران با این فناوری‌های جدید، تا حد زیادی بر چگونگی استفاده از خلاقیت کارگران در ارتباط با استفاده از فناوری‌های جدید تمرکز کردند.

چندین شرکت عنوان کرده‌اند که آینده‌ای را نمی‌بینند که در آن کارگران با دانش عمیق از فرآیندهای تولید بخشی از معادله نباشند؛ یک تولیدکننده به‌طور خاص بیان کرد که "نوآوری با چراغ خاموش کارخانه‌ها متوقف می‌شود."؛ یکی دیگر یک "مرکز تجربه ربات[۱]" را در کف کارخانه ایجاد کرد تا به مهندسان اجازه دهد درست در کنار خطوط تولید کار کنند، جایی‌که می‌توانند به سرعت با کارگران خط که ایده‌هایی در مورد نحوه تغییر کاربری ربات‌ها برای وظایف مختلف داشتند، ارتباط برقرار کنند؛ یک موسسه تحقیقاتی کاربردی که فناوری‌های پیشرفته‌ای را برای ربات‌های صنعتی و خدماتی توسعه می‌دهد و با چندین شریک صنعتی در تعامل است، گزارش داد که «تاثیرگذارترین راه‌حل‌های رباتی» که دیده‌اند، راه‌حل‌هایی بود که کارگران کارخانه در راه‌اندازی یک دستگاه مشارکت داشتند؛ راه‌حل رباتیک از طریق یک فرآیند ایجاد مشترک علاوه بر اینکه صدای کارگر برای نوآوری در تولید بسیار مهم است، برخی از وظایف مانند جابجایی مواد بین سلول‌های کاری یا تمیز کردن ماشین‌ها، زمانی‌که توسط انسان انجام می‌شوند مقرون به‌صرفه‌تر هستند [۱۰۰ و ۲۰]؛ درگیر نکردن کارگران در طراحی تکنولوژیکی و فرآیند یکپارچه‌سازی با اشکالات دیگری نیز همراه بود؛ در برخی از شرکت‌ها، که کارگران خط مرکزی برای معرفی راه‌حل‌های جدید رباتیک نبودند، کارگران اغلب به ربات‌ها بی‌اعتماد یا بدشان می‌آمد؛ علاوه بر این، شرکت‌ها خاطرنشان کردند که کارگران ابراز نگرانی می‌کنند که معرفی فناوری‌های جدید بر پویایی و تعاملات اجتماعی کارگران تأثیر منفی بگذارد و همچنین منجر به ناراحتی کارگران هنگام کار در خط تولید سریع یا ناراحتی عمومی مربوط به تغییرات ناشی از حضور ربات شود. گزارش شده است که برخی از کارگران نسبت به ردیابی اشتباهات خود توسط داده‌های حسگر سیستم‌های رباتیک محتاط بودند، در حالی‌که برخی دیگر با سرعتی که خط تولید با نیروی ربات تنظیم می‌کرد، از کار دور شدند؛ این غیر معمول نیست؛ بی‌اعتمادی عمومی به ربات‌ها در چندین مطالعه گزارش شده است، از جمله یکی که نشان می‌دهد اگر کارگران شخصاً ربات را اداره و نظارت نمی‌کنند، احتمالاً ربات‌ها را مقصر حوادث محل کار می‌دانند؛ علاوه بر تکیه بر تخصص کارگران، برخی از شرکت‌ها مانند یک تولیدکننده کوچک بازوهای رباتیک سبک وزن با تمرکز بر فناوری ابری نوآورانه و روش‌های آموزش ربات، می‌گویند که کار با مشتریان خود که در زمینه‌های خود متخصص هستند، بسیار مهم است؛ بخشی از فرآیند توسعه فناوری سازنده کوچک ربات‌ها «فروشگاه اپلیکیشنی برای ربات‌ها» را ابداع کرد که هم برای مشتریان صنعتی و هم برای جامعه تحقیقاتی باز است، فضایی مشترک که در آن کاربران می‌توانند راه‌حل‌های خاص برای وظایف مختلف را توسعه دهند و به اشتراک بگذارند؛ هدف آن‌ها امکان اشتراک‌گذاری سریع راه‌حل‌های رباتیک بین جامعه تحقیقاتی و همچنین شرکت‌هایی بود

[۱] REC

که در زمینه‌های مشابه کار می‌کنند، که منجر به راه‌حل‌های قابل تعمیم‌تر می‌شود [۱۰۰ و ۲۱].

۲-۱۰- رباتیک مشترک و افزایش دسترسی به ربات‌ها

* معرفی رباتیک مشارکتی و فناوری‌های مرتبط، پتانسیل بهبود همکاری انسان و ربات و گسترش اتوماسیون برای بهبود تولید را دارد. یک OEM بزرگ که با آن مصاحبه شده است، به‌نظر می‌رسید که مشتاق یافتن یک تعادل ظریف بین حفظ بازوهای صنعتی استاندارد در بخش های اثبات شده عملیات و استفاده از بازوهای رباتیک ایمن پیشرفته برای نمونه‌سازی بهتر و سریع‌تر از راه‌حل‌های اتوماسیون خطوط مونتاژ مجاور است؛ هدف آن‌ها این بود که بتوانند به سرعت این راه‌حل‌ها را پس از آزمایش و اثبات ارزش اقتصادی در فرآیندهای مونتاژ خود ادغام کنند؛ فراتر از بهینه‌سازی خط تولید برای شرکت‌های بزرگ، سیستم‌های رباتیک ارزان‌تر، سبک‌تر و با برنامه‌ریزی آسان‌تر نیز می‌توانند ربات‌ها را برای طیف وسیع‌تری از شرکت‌ها و کاربران در دسترس‌تر کنند؛ ربات‌های صنعتی کلاسیک، تا حد زیادی از نظر اقتصادی برای شرکت‌های تولیدی بزرگی هستند که فرآیندهای آن‌ها شامل وظایف تکراری و تولید مقادیر زیادی از یک کالا می‌شود و در آن‌ها یک ربات بر روی یک کار متمرکز می‌شود و معمولاً تغییر کاربری آن دشوار است؛ به دلایل اقتصادی، شرکت-های بزرگ می‌توانند سرمایه‌گذاری در چنین ماشین‌هایی را توجیه کنند؛ آن‌ها همچنین به مهندسان زیادی دسترسی دارند؛ با این حال، SMEها اغلب چنین سرمایه یا صلاحیت داخلی ندارند [۱۰۰، ۲۲]. پیشرفت‌های نوظهور در رباتیک، همراه با فشار به سمت استانداردهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، سهولت برنامه‌نویسی و انعطاف‌پذیری بیشتر در رباتیک، می‌تواند دسترسی به ربات‌ها را برای تولید در سراسر جهان بهبود بخشد و در نتیجه اتوماسیون را ساده‌تر کند؛ یکی از شرکت‌های بزرگ رباتیک خاطرنشان کرد که استفاده آسان این پتانسیل را دارد که چشم‌انداز رباتیک مشارکتی را به‌طور چشم‌گیری تغییر دهد؛ زیرا شرکت‌های کوچک و متوسط، اگر بتوانند از این فناوری بدون تکیه بر یکپارچه‌سازها یا تخصص برنامه‌نویسی داخلی گسترده استفاده کنند، احتمالاً بازار را هدایت خواهند کرد؛ ایده "برنامه‌نویسی کار و نه ربات" کاملاً با ایده افزایش دسترسی به ربات‌ها مرتبط است؛ چهار سازنده مختلف رباتیک، از بزرگ تا کوچک، ایده «توانمندسازی ربات‌ها از طریق توانمندسازی افرادی که با آن‌ها کار می‌کنند» را از طریق سیستم‌های رباتیک آسان‌تر برای برنامه‌ریزی مورد بحث قرار دادند؛ این سیستم‌ها کارگران را قادر می‌سازد تا مستقیماً ربات‌ها را مجدداً برنامه‌ریزی و تغییر کاربری دهند تا وظایف جدیدی را که نیازهای در حال تغییر تولید را برآورده می‌کنند، بدون نیاز به کارگران به داشتن تخصص برنامه‌نویسی گسترده انجام دهند؛ سهولت برنامه‌نویسی امکان یکپارچه‌سازی و ادغام مجدد ربات‌ها را فراهم می‌کند و به نوبه خود، هدفی را که هم تولیدکنندگان و هم جامعه تحقیقاتی می‌توانند در جهت آن تلاش کنند، تغییر دهند [۱۰۰ و ۲۲].

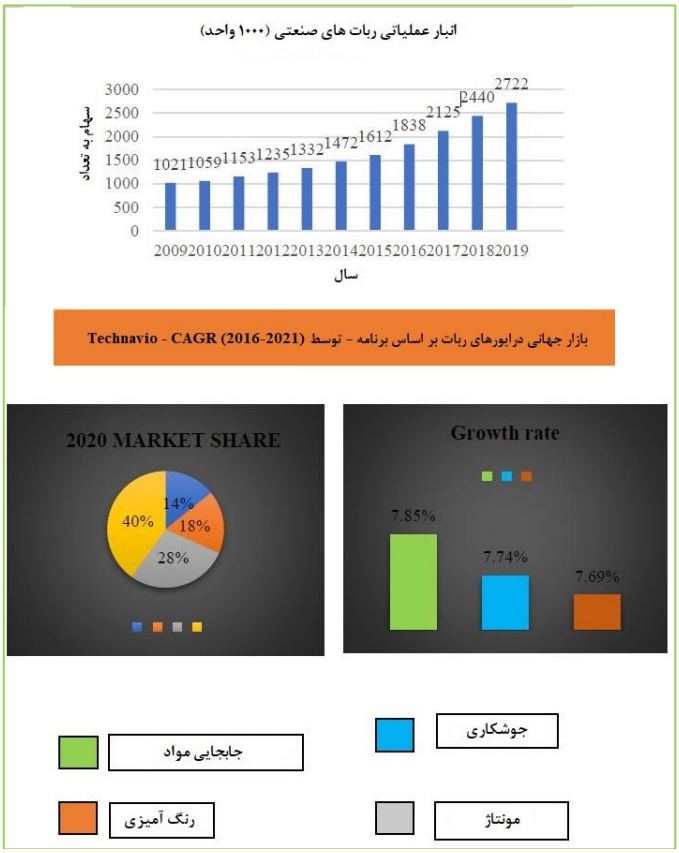
۲-۱۱- نقش ربات‌ها در عصر صنعت ۴,۰

* استفاده از ربات در صنایع آغاز شد؛ زیرا نیاز روزافزونی به کمک وجود دارد؛ رباتیک جهانی پروژه‌های سال ۲۰۲۰ را گزارش می‌دهد که ربات‌های صنعتی در کارخانه‌ها در سراسر جهان با افزایش ۱۲ درصدی نصب در سراسر جهان که ۲,۷ میلیون است (فدراسیون بین‌المللی رباتیک) استفاده شده است؛ سهم کل سهام نصب شده در صنایع در سال ۲۰۲۰ به شرح زیر است: خودرو ۳۴ درصد، صنعت برق و الکترونیک، ۲۵ درصد و صنعت فلز ۱۰ درصد؛ ارزش تاسیسات جدید، ۱۳,۸ میلیارد دلار است. بررسی‌های مختلف بازار برای درک بیشتر بازار ربات‌ها بر اساس کاربرد و فروش اضافه شده است. پیش‌بینی‌کنندگان متعددی وجود دارد که پیش‌بینی‌کنندگان ایده‌آل برای پیش‌بینی‌های دقیق در سراسر جهان انتخاب شدند. نصب در پنج کشور برتر حدود ۷۳ درصد (چین، ژاپن، ایالات متحده امریکا، کره و آلمان) است؛ تراکم ربات در سراسر جهان در صنعت تولید ۱۱۳ ربات در هر هزار کارمند است؛ بازار این ربات دارای پتانسیل بازسازی زنجیره تامین جهانی است. در سال ۱۷۸۴ که ۲۳۷ سال قبل از شروع تکامل مکانیکی اولیه است؛ انقلاب صنعتی شامل چهار مرحله است؛ در اوج قرن هجدهم، اولین انقلاب صنعتی بر پایه آب و بخار نیروی مکانیکی تولید کرد [۱۰۲ و ۱۹]. در آغاز قرن بیستم، شورش صنعتی بعدی که رخ داد، ظهور نوار نقاله‌ها و تولید انبوه آن‌ها بود و برچسب‌های افراد مشهوری مانند هنری فورد و فردریک تیلور نیز با آن مرتبط بود؛ انقلاب بعدی اتوماسیون صنعتی دیجیتال از طریق فناوری مدارهای مجتمع و سیستم‌های فناوری اطلاعات[۷]است؛ توسعه ربات‌های خودمختار، پیشرفت‌های اتوماسیون و اینترنت اشیا صنایع را به مرحله چهارم سوق می‌دهد؛ صنعت اصطلاحات ۴,۰ از ربات‌ها به‌عنوان سیستم هوشمند خود که در شکل ۵ نشان داده شده است استفاده می‌کند؛ در دهه‌های آخر قرن بیستم، صنایع به‌طور قابل توجهی سطح اتوماسیون صنعتی و رباتیک را بهبود بخشیده‌اند؛ کارآمدتر، انعطاف‌پذیرتر، چندمنظوره‌تر، ایمن‌تر و قابل همکاری‌تر شد؛ بنابراین شرکت‌های تولیدی هوشمند خارق‌العاده‌ای را ایجاد کرد که به هسته اصلی صنعت ۴,۰ تبدیل می‌شوند و

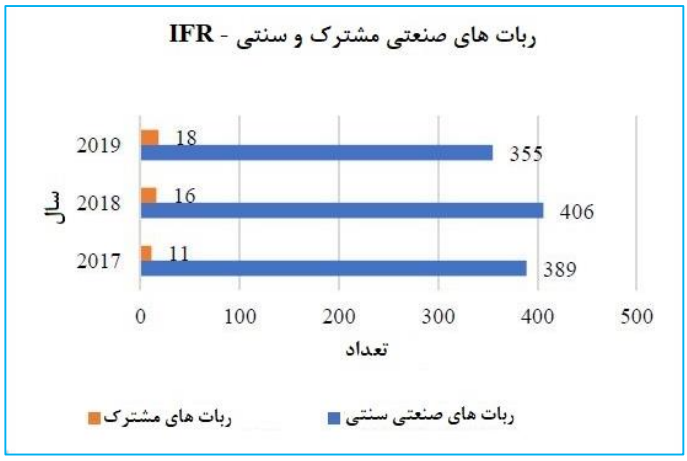
[۷] IT

نوآوری‌های داده و ارتباطات را برای دست‌یابی به زنجیره‌های شعبه و ایجاد پیشرفت در زمینه‌ها پوشش می‌دهند؛ این درجه بالاتری از کامپیوتری و دیجیتالی شدن را فراهم می‌کند [۱۰۲].

این استنباط می‌کند که ماشین‌هایی با استفاده از قابلیت خود بهبود یافته، خود برنامه‌ریزی و ادراک انسان ساخته شده برای تکمیل تلاش‌های پیچیده برای انتقال بازدهی بسیار بالای هزینه و محصول با کیفیت بهتر نسبت به انسان بهتر عمل می‌کنند. سازمان‌های تولیدی با استفاده از آزمایش‌های پیشرفته در برنامه‌های اجرایی دقیق، می‌توانند از خرابی ماشین در کف کارخانه فرآوری دوری کنند و منجر به کاهش وقفه و افزایش بهره‌وری شود؛ تعداد کمی از سازمان‌ها در واقع می‌خواهند کارخانه‌های پردازش «چراغ خاموش» را توسعه دهند که در آن تولید در غیاب روشنایی با ربات‌های مکانیزه یا گرما هنگام بازگشت کارگران به خانه انجام می‌شود؛ متخصصان انسانی را می‌توان به نحو مؤثرتری برای کارهایی که واقعاً مهم هستند، مورد استفاده قرار داد؛ توالی زندگی تولید صنعتی به سمت گسترش منحصر به فرد پیش نیازهای مشتری گرایش پیدا می‌کند و شامل فکر و درخواست پیشرفت و ایجاد، گردش اقلام علاوه بر استفاده مجدد، و علاوه بر آن شامل هر سرویس متصل می‌شود [۱۰۲ و ۲۳].



شکل ۵- تجزیه و تحلیل سهم بازار بر اساس کاربرد در صنایع مختلف [۱۰۲]



شکل ۶- بررسی IFR نصب و راه‌اندازی ربات‌های صنعتی و مشارکتی در سراسر جهان [۱۰۲]

۲-۱۲- همکاری انسان و ربات

* تقاضای رو به رشد برای وسایل نقلیه رباتیک در محیط‌های کاری مسکونی یا صنعتی بر بهبود تعداد زیادی ربات با عملکرد خوب متمرکز شده است که برای تشخیص سطح بالا و کنترل ماشه آماده هستند [۲۴ و ۱۰۲]. انتظار می‌رود سیستم‌هایی که از بازوهای رباتیک تا انسان‌نماهای کامل آرایه می‌شوند در وظایف مختلف در ارتباط با کارگر انسانی برای کمک مورد استفاده قرار گیرند، که در این زمینه به تلاش مشترک برای اجرای بی‌ضرر، کارآمد، صرف زمان و انرژی نیاز دارد [۲۵]؛ در نتیجه، افزودن سیستم‌های رباتیک به شیوه‌ای هماهنگ، گسترده بوده و به سرعت در حوزه تحقیقاتی در حال رشد است. همکاری فیزیکی انسان و ربات[۸] که نزول در فواصل زمانی، فضای گسترده‌ای از تعامل انسان و ربات است، زمانی‌که انسان، ربات و همچنین محیط برای تکمیل کار در تعامل با ماشین یا انسان جفت شوند [۲۶]. در ادبیات، مشکلات ایمنی تعامل انسان و ربات[۹] و مسائل مربوط به عملیات آن به‌طور گسترده مورد بحث قرار گرفته است (مثال اجتناب از برخورد در خط تولید)؛ ترجیحاً، هر مساله پویا از این نوع ابزارها باید قادر به مشاهده و تخمین کمک‌های افزایش یافته به واکنش کل ابزار از طریق سنتز و پردازش اطلاعات حسی باشد [۲۷]؛ به‌عنوان یک مهم، یک رفتار واکنشی مناسب ممکن است تکرار شود (به‌عنوان مثال، با کمک استفاده از انسان از مجموعه‌ای از توانایی‌های به‌دست آمده به‌دست می‌آید) یا تکامل یافته تا عملکرد کلی متحدان مشترک را تقویت کند؛ از این‌رو، در این مقاله مروری بر سایر حقایق ضروری PHRC [۲۸ و ۱۰۲] تکیه می‌شود؛ یک

[۸] PHRC

[۹] HRI

استراتژی مهم در این مسیر، این است که تشکیل یک چارچوب اقتدار مشترک در درون آن که صلاحیت‌های قابل توجه همه افراد و مکانیسم‌ها اغلب تحت فشار قرار می‌گیرد؛ برای مثال، مهارت‌های مهم روان‌شناختی افراد در آموزش و سازگاری با بسیاری از وظایف و بی‌ثباتی‌ها معمولاً برای نظارت بر شایستگی‌های فیزیکی برتر ربات‌های تعاونی انجام می‌شود؛ از این‌رو، این مقاله بر روی بخش‌های حیاتی مرتبط جایگزین HRC، یعنی مرزهای انسان-ربات، مدل‌های مدیریت ربات، وفاداری سیستم و موارد کاربری مناسب تمرکز دارد؛ علاوه بر این، با ضرب‌المثل قدیمی برای قدردانی از همگرایی مقرون به صرفه دیدگاه‌ها برای رشد اجباری آینده، توجه ما کاملاً به جنبه-های فیزیکی همکاری انسان و ربات معطوف می‌شود [۱۰۲].

شکل ۷- تعامل فیزیکی ایمن انسان با ربات [۱۰۲]

۲-۱۳- سایر ملاحظات برجسته

* ایمنی و استانداردسازی فناوری‌های جدید از دیگر مسائلی بود که شرکت‌ها با آن دست و پنجه نرم کردند؛ شرکت‌هایی که با آن‌ها صحبت شد، به‌علاوه به امنیت قوی‌تر، حسگر بهبودیافته، فناوری‌های انعطاف‌پذیرتر که به‌راحتی قابل انطباق و استفاده مجدد هستند و سخت‌افزاری که می‌تواند با تعدادی از پلتفرم‌های ابری مختلف ارتباط برقرار کند، بسیار علاقه‌مند بودند؛ شرکت‌ها همچنین بر نیاز به قابلیت اطمینان گسترده هنگام معرفی یک فناوری جدید تاکید کردند؛ ناهنجاری‌ها و تغییرات (به‌عنوان مثال، در نور، که می‌تواند بر درک ربات تاثیر بگذارد) می‌تواند کل تولید را متوقف کند؛ یک تولیدکننده بزرگ گفت: «دنیای تولید به‌قدری بهینه شده است که هر دقیقه که یک ربات حرکت نمی‌کند، پولی است که از پنجره بیرون می‌آید؛ این امر جذب فناوری‌های نوظهور در صنعت تولید را محدود می‌کند: در حالی‌که خود فناوری مطلوب است، طول عمر و استحکام آن فناوری نامشخص است؛ همه این نگرانی‌ها در بخش بعدی توضیح داده می‌شوند؛ زیرا فناوری‌های خاصی که شرکت‌ها مورد بحث قرار داده‌اند یا ادغام کرده‌اند، معرفی می‌شوند [۹ الی ۱۶ و ۱۰۱].

در حالی‌که در این مختصر هیچ توصیه سیاستی ارائه نمی‌شود، می‌خواهیم روی سؤالات باز در مورد فن‌آوری‌ها و سخت‌افزارهای مورد استفاده و همچنین جهت‌های تحقیقاتی کلیدی برای جامعه رباتیک تأکید کنیم؛ ما بحث می‌کنیم که چگونه بهبود جنبه‌های خاصی از رباتیک و فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیا در محیط‌های صنعتی می‌تواند یکپارچه‌سازی سریع‌تر و استفاده مجدد از این فناوری‌ها را در خطوط تولید و همچنین افزایش اتصال بین فناوری‌ها در سیستم‌های مبتنی بر اینترنت اشیا ممکن کند؛ همچنین نشان می‌دهیم که چگونه می‌توان به تلاش‌ها برای افزایش استانداردسازی فناوری‌های رباتیک و توسعه فناوری برای افزایش انعطاف‌پذیری و به نوبه خود تشویق پذیرش و اجرای گسترده اتصالات کارخانه‌ای اتوماسیون و فناوری‌های رباتیک در حال ظهور فردی نیاز داشت [۱۰۱].

۲-۱۴- بحث: زیرساخت‌های کارخانه و فناوری‌های نوظهور

* نقش ماشین‌ها و انسان‌ها در تولید در دهه گذشته با شواهد در حال ظهور در مجموعه تحقیقاتی تغییر کرده است که نشان می‌دهد همکاری نتایج بهتر و عملیات نرم‌تری نسبت به کارگران انسانی و ربات‌هایی که به‌طور مستقل عمل می‌کنند یا در مقایسه با "چراغ خاموش" به همراه دارد [۹ الی ۱۲ و ۱۰۱]. " کارخانه‌های تمام اتوماتیک؛ ربات‌های مشارکتی، که برای تعامل با انسان‌ها در یک فضای مشترک و مجاورت نزدیک، معمولاً بدون حصارهای ایمنی، طراحی شده‌اند، چشم‌انداز یک کارخانه آینده «ایده‌آل» را تشکیل می‌دهند که در آن ربات‌ها و انسان‌ها نیازی به کار جدا از هم ندارند؛ علاوه بر این، در صورت پذیرش گسترده، امید است فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیا با ترکیب محاسبات پیشرفته و اتصال هوشمند و قابل اعتماد برای اتصال محصولات و خدمات، نوآوری را به سطح بعدی سوق دهند؛ به‌عنوان مثال، ابزارهای تولیدی و ربات‌ها در سراسر یک خط تولید می‌توانند اطلاعات وضعیت را به یک پایگاه داده مرکزی منتقل کنند، که سپس می‌تواند دستورات را به هر جزء ارسال کند و فرآیندهای تولید را بین تمام اجزای خط بهینه‌سازی و تنظیم کند؛ در حالت ایده‌آل و به‌دلیل اینترنت اشیا، فناوری‌های رباتیک قادر خواهند بود با یکدیگر و زیرساخت‌های اطرافشان صحبت کنند و ربات‌های مشارکتی را بیشتر توانمند می‌کنند، که به‌طور بالقوه می‌توانند خطوط تولید کلاسیک را از طریق کمک به کارگران متحول کنند [۱۰۰].

ربات‌های صنعتی که به‌طور گسترده در مدیریت زنجیره‌های تامین و تولید استفاده می‌شوند، ماشین‌های مستقلی هستند که می‌توانند در دنیای واقعی اقداماتی انجام دهند؛ آن‌ها ربات‌هایی هستند که می‌توانند در جهات مختلف و در امتداد چندین محور بچرخند و حرکت کنند؛ آن‌ها معمولاً برای مدت‌زمان طولانی تا ۱۶۰۰۰ ساعت کار می‌کنند و برخی از محصولات می‌توانند ۸۰۰۰۰ ساعت بدون خرابی دوام بیاورند؛ به‌ویژه بازوهای رباتیک صنعتی می‌توانند تا هفت سال دوام آورند؛ همان‌طور که قبلا ذکر شد، ربات‌های صنعتی معمولا توسط شرکت‌های بزرگ و متوسط استفاده می‌شوند؛ ربات‌های صنعتی معمولاً بزرگ‌تر و گران‌تر از ربات‌های جدید و سبک‌وزن مشترک هستند؛ مانند بازوهای ربات سبک‌وزن، که کوچک‌تر، متحرک‌تر، ادغام آسان‌تر و بهتر می‌توانند از طریق رابط‌ها و برنامه‌نویسی آسان‌تر با وظایف مختلف سازگار شوند.

با وجود محدودیت‌های فعلی ربات‌های سبک‌تر و مشارکتی، ارزان‌تر هستند، می‌توانند بین وظایف با انعطاف‌پذیری بیشتری حرکت کنند و عموماً در دسترس‌تر هستند؛ مهم‌تر از همه، به‌دلیل ظرفیت آن‌ها برای استفاده مجدد و استفاده مجدد، ادغام آن‌ها در خطوط تولید آسان‌تر است؛ اگرچه آن‌ها با ظرفیت بار کاهش یافته عرضه می‌شوند، اما ضریب ایمنی افزایش یافته، سهولت استفاده و برنامه‌نویسی و همچنین هزینه‌های کمتر مرتبط با یکپارچه‌سازی، سبک‌وزن را به وسیله‌ای عالی برای گسترش استفاده از آن در شرکت‌های مختلف، بزرگ و کوچک تبدیل می‌کند [۱۰۰ و ۲۴].

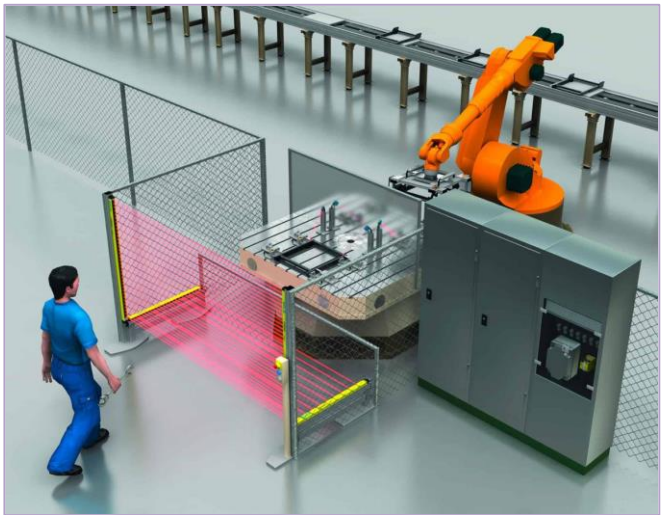
شکل ۸- یک بازوی رباتیک خودکار در داخل سلول کار کارخانه. این ربات در یک قفس قرار دارد تا از ایمنی انسان در مجاورت اطمینان حاصل کند [۱۰۰]

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، نوآوری در رباتیک صنعتی از رویکردهای مختلفی پیروی کرده است؛ برخی از شرکت‌ها از ربات‌های مشارکتی به روش‌های قدیمی استفاده می‌کردند، همان‌طور که از ربات‌های صنعتی کلاسیک استفاده می‌کردند، در حالی‌که برخی دیگر چرخش و نوآوری را انتخاب کردند؛ این دو جهت منجر به تجربیات کاملاً متفاوتی از ادغام فناوری‌های نوظهور برای این شرکت‌ها شد که با گسترش فناوری‌ها به نمایش خواهیم گذاشت؛ بسیاری از شرکت‌های مستقری که با آن‌ها مصاحبه شده است، سیستم‌هایی را ارزشمند می‌دانند که کمتر احتمال داشت زیرساخت‌های موجود را مختل کنند یا به تعمیرات اساسی سخت‌افزار قدیمی نیاز داشته باشند.

موارد زیر برخی از فناوری‌های نوظهور است که تولیدکنندگان کوچک و متوسط و همچنین شرکت‌های بزرگ‌تر و با سابقه‌تر که با آن‌ها مصاحبه شده‌است، با آن‌ها کار کرده‌اند یا در کارخانه‌های خود به‌کار گرفته‌اند و نحوه برخورد آن‌ها با برخی از چالش‌های فنی، طراحی و اقتصادی است، به این فناوری‌ها متصل شدند. سیستم‌های ایمنی برای ربات‌هایی که برای کار در فاصله ایمن از کارگران انسانی طراحی شده‌اند، بسیار مهم هستند؛ به‌طور سنتی، قفس‌های اطراف سلول‌های تولیدی که در آن ربات‌های صنعتی کار می‌کنند، پارامترهای ایمنی را تعریف می‌کنند تا اطمینان حاصل شود که کارگر انسانی به‌طور ناخواسته آسیب نمی‌بیند؛ اما این بدان معناست که املاک و مستغلات یک کارخانه توسط سلول‌های بزرگ برای ارائه این نوع محافظت مصرف می‌شود. سیستم‌های ایمنی جدید، مانند سیستم‌های غیرفعال که انسان‌ها را در تماس تشخیص می‌دهند و سیستم‌های فعالی که از حسگرها برای شناسایی انسان‌ها و جلوگیری از برخورد با آن‌ها استفاده می‌کنند، می‌توانند نیاز به قفس‌ها را به‌طور کلی از بین ببرند و فضایی را که می‌توان برای عملیات‌های دیگر مورد استفاده قرار داد آزاد کرد [۱۰۰ و ۲۵].

برخی از سیستم‌های غیرفعال شامل حسگرهای پوستی هستند که هنگام برخورد یک ربات با یک انسان یا یک شی در محیط، متوقف می‌شوند؛ برخی از سیستم‌های فعال شامل ادغام حسگرهایی مانند پرده‌های نور یا لیزر هستند که ربات را مجبور می‌کنند در صورت عبور انسان از آن‌ها خاموش شود، یا حسگرهای مجاورت در داخل قفسی که ربات در آن کار می‌کند تا تشخیص دهد که انسان در کجای ربات قرار دارد، یا پوسته‌های خازنی که خود ربات را با یک فیلم حسی پوشانده‌اند که تغییرات میدان الکتریکی را در یک برد کوتاه در اطراف ربات شناسایی می‌کند؛ صرف‌نظر از سیستم ایمنی مورد استفاده، سلول‌های کاری مشترک معمولاً به رعایت استانداردهای ایمنی نیاز دارند که سرعت کلی یک ربات و نیرویی را که یک ربات ممکن است با یک فرد تعامل داشته باشد، محدود می‌کند؛ از آنجایی‌که سرعت‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرند، شرکت‌ها بحث کردند که آیا استفاده از این فناوری‌ها برای ایجاد فضاهای کاری مشترک و سیستم‌های مشترک سود کافی دارد یا خیر [۱۰۰ و ۲۶]. یکی از این شرکت‌ها، تولیدکننده بزرگ OEM که طیف وسیعی از محصولات مصرفی را تولید می‌کند، اظهار داشت: «رباتیک مشارکتی،

رباتیک آهسته است». همان شرکت اشاره کرد که کاهش سرعت محدودیتی است که می‌تواند بی‌هیچ عملیات را پیچیده کند، در حالی‌که هنوز اذعان دارد که طرز فکر در مورد ربات‌های مشارکتی در حال تغییر است و موقعیت‌هایی وجود دارد که ربات‌ها برای کمک به کارگران انسانی طراحی شده‌اند و بهره‌وری آن‌ها را بهبود می‌بخشند نه اینکه مستقیماً جایگزین آن‌ها شوند؛ رویکردهای سنتی، مانند محدودیت‌های سرعت و بار، کمتر در سیستم‌های ایمنی جدید و در حال ظهور کاربرد دارند؛ به‌عنوان مثال، بازوهای کوچکتر با بار محدود، مطابق با استانداردهای ایمنی، می‌توانند محدودیتی در میزان نیرویی که می‌توانند اعمال کنند داشته باشند؛ رویکردهای جایگزین و نوظهور ایمنی، با این حال، بر بهبود طراحی بازوی رباتیک برای جلوگیری از برخورد با انسان به‌طور کلی تمرکز دارند؛ به همین دلیل است که کار بیشتر برای بهبود استانداردهای ایمنی مربوطه برای ربات‌های مشارکتی مهم است [۱۰۰ و ۲۰].



شکل ۹- تصویری از یک پرده نور ایمنی، یک سیستم ایمنی فعال ایمن در اطراف بازوهای رباتیک بزرگ [۱۰۰]

شکل ۱۰- یک بازوی رباتیک مشترک که می‌تواند با خیال راحت در کنار انسان کار کند [۱۰۰]

بازوهای سازگار از حسگرهای گشتاور یکپارچه برای بهبود قابلیت‌های تعامل استفاده می‌کنند و می‌توانند هم برای ایمنی غیرفعال، تشخیص انسان در هنگام برخورد و هم برای کارهای پیچیده استفاده شوند.

پیشرفت‌های اخیر شرکت‌هایی را شامل می‌شود که از این دستگاه‌ها برای انجام کارهای پیچیده‌ای که نیاز به دستکاری قطعات شل شده دارند، استفاده می‌کنند؛ آن‌ها علاوه بر این به‌عنوان بخشی از سیستم‌های جدید و مشترک استفاده شده‌اند که با طراحی، کار ایمن‌تر از نزدیکی انسان و ربات را امکان‌پذیر می‌کنند؛ اگرچه آن‌ها برای برخی از وظایف جدید و برای بهبود ایمنی مورد استفاده قرار می‌گیرند، گزارش‌ها در مورد استفاده و جذب سلاح‌های سازگار متفاوت بود؛ این فناوری می‌تواند بر برخی محدودیت‌های مربوط به دستکاری‌های حساس غلبه کند، اما هنوز برخی از وظایف دور از دسترس وجود دارد؛ با این حال، به‌نظر می‌رسد توافق وجود دارد که آن‌ها می‌توانند یک فناوری ارزشمند باشند، اما برای تحقق کامل پتانسیل آن‌ها به توسعه بیشتری نیاز است [۱۰۰و ۳۰].

گرفتن رباتیک که در آن ربات‌ها می‌توانند اشیاء را نگه دارند یا بردارند یا دستکاری کنند، هنوز از توانایی‌های انسان دورتر است. یک سازنده بزرگ رباتیک که با آن مصاحبه شده است، سخت‌افزار فیزیکی را به‌عنوان یک چالش بزرگ توصیف کرد؛ پیشرفت‌های فناوری و به‌سوی بهبود انعطاف‌پذیری سخت‌افزار، که توسط شرکت‌ها و مؤسسات تحقیقاتی ذکر شده است، امیدی به‌وجود آورد که این فناوری ممکن است از نوآوری‌های نوظهور مانند یادگیری عمیق یا سیستم‌های حسگر قوی‌تر که می‌تواند عملکرد گیرایی را بهبود بخشد، بهره‌مند شود؛ یکی از تولیدکنندگان بزرگ و چندملیتی محصولات الکترونیکی صنعتی، علاوه بر این، از فناوری‌های تولید افزودنی ارزان (AM) برای تنظیم سریع و ارزان گیره‌ها برای قطعات استفاده کرده است.

حس و ادراک، مدیریت داده‌ها و نگهداری پیش‌بینی‌کننده، از جمله فناوری‌هایی هستند که پتانسیل و کاربرد آن‌ها ارتباط تنگاتنگی با یکدیگر دارند؛ حس، ادراک و پردازش داده‌ها، به‌ویژه با هم کار می‌کنند تا درک ربات از محیط فیزیکی، سایر ربات‌ها و کارگران انسانی و همچنین فرآیندهای تولید را بهبود بخشند؛ پیشرفت در یک زمینه، مانند سودمندی تجهیز ربات‌ها با حسگرها، به یک زیرساخت داده قوی برای مدیریت داده‌ها برای تولید کلی بستگی دارد تا به‌طور قابل توجهی بهبود یابد.

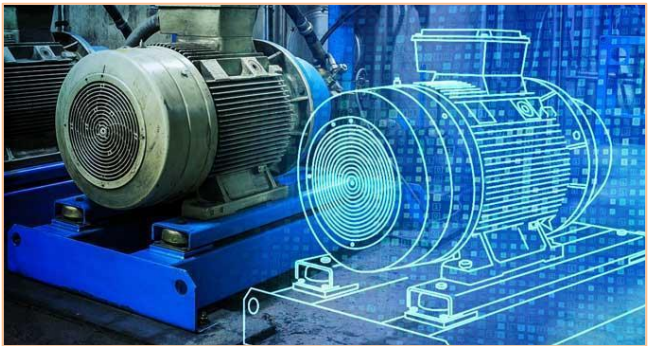
در حالی‌که سنجش، به‌عنوان مثال، قابلیت‌های وسایل نقلیه هدایت‌شونده خودران (AGVs) را در کف کارخانه‌ها از طریق الگوریتم‌های ادراک پیشرفته بهبود بخشیده است، اما در زمینه‌های

دیگر، به‌ویژه از نظر استحکام، مانند زمینه‌های صنعتی بزرگ و پرسرعت، کافی نیست؛ به گفته یک موسسه تحقیقاتی کاربردی متمرکز بر ماشین ابزار و اتوماسیون، ربات‌هایی که برای اطمینان از ایمنی به قابلیت های درک سریع نیاز دارند [۱۰۰و ۲۷].

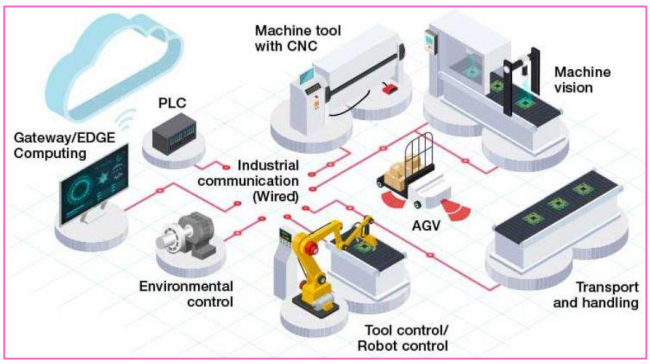
بهبود برنامه‌نویسی و رابط‌های ارتباطی می‌تواند انسان‌هایی را که تجربه برنامه‌نویسی کمی دارند، قادر به کنترل ربات‌ها برای انجام کارهای مختلف کند؛ در حالی‌که رابط‌های ارتباطی ربات‌ها را قادر می‌سازد تا با سایر سخت‌افزارها و نرم‌افزارها ارتباط برقرار کنند؛ از حدود یک دهه پیش، ربات‌هایی که به‌عنوان برنامه‌نویسی آسان به بازار عرضه می‌شدند، توجه شرکت‌ها را به رباتیک مشارکتی جلب کردند؛ یک دهه بعد، برای اکثر شرکت‌هایی که با آن‌ها مصاحبه شد، تمرکز بر سهولت برنامه‌نویسی تغییر نکرده است؛ پذیرش ربات‌های مشارکتی همچنان با تمرکز بیشتر بر توسعه و طراحی رابط‌ها همراه است؛ آمادگی برای استفاده از این ربات‌ها به‌سهولت برنامه‌نویسی، نمونه‌سازی اولیه، انعطاف‌پذیری و سرعت یکپارچه‌سازی گره خورده است [۱۰۰ و ۲۹].

اینترنت اشیاء صنعتی (IoT)، شاید لازمه اساسی برای یکپارچه‌سازی کامل فناوری مبتنی بر ابر، هنوز به‌طور کامل توسط شرکت‌ها پذیرفته نشده است و در "مرحله پیش از توسعه" باقی مانده است. مسائل مربوط به حریم خصوصی، سوالات مربوط به مالکیت و استقلال داده‌ها و همچنین نگرانی‌های امنیتی درهم و برهم است. به گفته یک تولیدکننده متوسط ربات‌های صنعتی با بار کوچک تا متوسط، مردم آماده نیستند کارخانه خود را روی اینترنت یا فضای ابری باز کنند؛ از آنجایی‌که تحقق اینترنت اشیا به جمع‌آوری و انتقال داده‌ها متکی است، یک شرکت بزرگ رباتیک نیز نگرانی‌هایی درباره مشکلات سیاسی در انتقال اطلاعات در سراسر مرزهای ملی و همچنین اینکه آیا محاسبات باید در رایانه‌های محلی متمرکز شود، یا به‌طور کامل به فضای ابری منتقل شود، بیان کرد [۱۰۰ و ۳۰].

اینترنت اشیا شاید نمونه دیگری از این باشد که چگونه فقدان استانداردها همراه با محدودیت در زیرساخت داده می‌تواند ادغام کامل فناوری‌های نویدبخش را خنثی کند و سرمایه‌گذاری در آن‌ها را بی‌انگیزه کند؛ بدون داشتن ایده روشنی از پتانسیل یکپارچه‌سازی اینترنت اشیا و مدیریت داده در اتوماسیون و مزایای کامل برای شرکت‌ها (و اینکه آیا این مزایا هزینه سرمایه‌گذاری را توجیه می‌کنند)، شرکت‌ها به‌طور قابل درک باقی خواهند ماند [۱۰۰].



شکل ۱۱- دوقلوهای دیجیتال، فکس دارایی‌های صنعتی، به اجزای فیزیکی اجازه می‌دهند در یک محیط دیجیتالی نمایش داده شوند؛ این با ارزش است، زیرا می‌تواند به شبیه‌سازی و ادغام کمک کند [۱۰۰]



شکل ۱۲- نمونه‌ای از نحوه استفاده از اینترنت اشیا و سیستم‌های ابری برای اتصال اجزای یک سلول تولیدی و هماهنگی کامل آن‌ها [۱۰۰]

۳- انعکاس: خلاصه چالش‌ها و نتیجه‌گیری

* چالش‌های فنی و طراحی زیر مشاهده شد که بر توانایی تولیدکنندگان برای ترکیب فناوری‌های مشارکتی و تعاملی جدید در فرآیندهای تولیدشان تأثیر می‌گذارد؛ این ملاحظات به‌طور گسترده در مورد تولیدکنندگان اعمال می‌شود، اما می‌توانند برای SMEهایی که مایل به معرفی فناوری‌های جدید هستند، بازدارنده باشد.

- عدم استانداردسازی در بسیاری از جنبه‌های رباتیک، استفاده از پتانسیل کامل فناوری‌های امیدوارکننده یا ترکیب انواع جدیدی از ربات‌ها در خطوط تولید را برای برخی شرکت‌ها دشوار کرده است. برخی از شرکت‌ها در طول سال‌ها سیستم‌ها و قابلیت‌هایی را توسعه دادند که ترجیح می‌دهند به استفاده از آن‌ها ادامه دهند؛ برخی دیگر، اغلب شرکت‌های کوچک‌تر، در حال طراحی خطوط تولید یا خرید فناوری‌های جدید از پایه هستند؛ هر نوع ربات ممکن است برای استفاده به دانش زبان‌های برنامه‌نویسی مختلف، رابط‌ها یا پروتکل‌های ارتباطی نیاز داشته باشد؛ استانداردسازی علاوه بر استانداردهای ایمنی و سخت‌افزار باید تمامی این ملاحظات را پوشش دهد. یک شرکت بزرگ رباتیک در مصاحبه‌های ما اظهار داشت: «استانداردسازی آنقدرها هم که فکر می‌کنید، آسان نیست».

«کارشناسان زیادی برای گوش دادن وجود دارد؛ این باید با اینکه چه فناوری‌هایی قادر به انجام چه چیزهایی هستند و درک فرآیندهایی که بخشی از آن هستند، همراه باشد.»

- این واقعیت که فن‌آوری‌های رباتیک کنونی را نمی‌توان همیشه به سرعت تغییر کاربری داد، موارد استفاده بالقوه ربات‌ها و همچنین توانایی کارگران با تجربه خط را برای استفاده از دانش عمیق حوزه خود برای بهبود فرآیندهای تولید از طریق استفاده مجدد مستقیم از ربات‌ها محدود کرد؛ انعطاف‌پذیری همچنین برای افزایش کاربرد رباتیک در سطوح مختلف تولید، از جمله تولید با ترکیب بالا و تولید کم، مهم در نظر گرفته شد؛ زمان ادغام و ادغام مجدد سریع‌تر؛ سلول-های کاری و خطوط تولید قابل تنظیم مجدد؛ کاهش ردپای کارخانه با اجازه دادن به تولید چندین محصول در یک خط واحد؛ و امکان استفاده مجدد از ربات‌ها را فراهم می‌کند؛ در حالی‌که اتصال فناوری‌ها برای یکپارچه‌سازی کامل IoT ضروری است، نگرانی‌های امنیتی و حفظ حریم خصوصی در مورد اتصال کارخانه‌ها به ابر و همچنین مسائل مربوط به قابلیت اطمینان ارتباطات از طریق سیستم‌های رایانش ابری و نحوه سازماندهی و ذخیره داده‌ها همچنان وجود دارد؛ طبق دانش ما، سیستم‌های IoT و ابری در حال حاضر محدود به تبادل اطلاعات بین ربات‌ها هستند و هنوز به بهینه‌سازی تولید یا برای دست‌یابی به نظارت و کنترل متمرکز، که چندین شرکت از آن به‌عنوان هدف فعلی یا آتی اتوماسیون یاد می‌کنند، گسترش نیافته‌اند.

- استحکام بسیار زیاد، ادغام سریع‌تر و حذف تنگناهای تکنولوژیکی مربوط به حس کردن، ادراک و گرفتن برای تشویق سرمایه‌گذاری و پذیرش انبوه اتوماسیون حیاتی است.

- از آنجایی‌که ابزارهای تولیدی، سلول‌های کاری و محصولات بیشتری حامل ابزارهای سنجش هستند، مقادیر زیادی داده خام به-طور مداوم جمع‌آوری می‌شود؛ با این حال، بسیاری از شرکت‌ها استخراج اطلاعات قابل استفاده از این داده‌ها را برای اهداف تعمیر و نگهداری دشوار می‌دانند (در بخش بعدی بیشتر به این موضوع پرداخته می‌شود).

- فناوری‌های Vision، در حالی‌که نویدبخش تضمین ایمنی ربات‌ها و کاهش هزینه‌های بررسی کیفیت هستند، هنوز تا بهینه شدن فاصله زیادی دارند؛ همان چالش‌هایی که برای داده‌ها و استحکام سیستم‌ها اعمال می‌شود، در اینجا نیز اعمال می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که سیستم‌های بینایی و الگوریتم‌های مربوطه اغلب در تنظیمات تحقیقاتی یا سایر تنظیمات به خوبی کنترل شده عملکرد خوبی داشتند، اما در کارخانه‌های واقعی به روش‌های مختلف خراب شدند؛ بدون قابلیت اطمینان سنگ، پیشرفت‌های اخیر در الگوریتم‌ها (مانند معماری‌های مبتنی بر یادگیری عمیق) به اندازه کافی قوی نیستند که بتوان از آن‌ها استفاده کرد.

- ربات‌های سبک وزن به‌دلیل کاهش بار محموله، ذاتا ایمن‌تر هستند؛ در صورت خرابی سیستم ایمنی، پیامدهای ایمنی انسانی «ایمن» آن‌ها نسبتاً بهتر از ربات‌های صنعتی سنگین‌تر است که می‌توانند به اندازه کافی قدرتمند باشند که یک کارگر انسانی را درهم بشکنند، یا به‌شدت آسیب ببینند؛ اما جذب در برخی از محیط‌ها محدود می‌ماند، زیرا شرکت‌های بزرگ سرعت را به‌جای ادغام با انسان ترجیح می‌دهند، به‌ویژه از آنجایی‌که ربات‌های سبک وزن برای برخی وظایف بهینه نیستند؛ تعادل بین ایمنی، سرعت و تطبیق-پذیری سرمایه‌گذاری در ربات‌های سبک‌وزن را تشویق می‌کند.

- در حالی‌که برخی خودروهای هدایت‌شونده خودران (AGV) را برای کاربردهای لجستیکی مفید می‌دانند، ادغام آن‌ها در یک کارخانه می‌تواند توسط یک پیشنهاد ارزش نامشخص مختل شود؛ معرفی سیستم‌های سنجش قوی‌تر و قابل اعتمادتر و همچنین ادغام IoT و محاسبات ابری، می‌تواند به شرکت‌ها کمک کند تا زیرساخت‌های AGV را برای معرفی مدیریت هوشمند ناوگان و افزایش جریان تولید گسترش دهند.

- در نهایت، زیرساخت‌های داده بهتر می‌تواند به شرکت‌ها کمک کند تا به قول یک شرکت چندملیتی بزرگ، «داده‌های هوشمند از داده‌های بزرگ» تولید کنند؛ همان‌طور که آن‌ها وجود دارند، شرکت-ها در برابر سرمایه‌گذاری در این زیرساخت‌ها مقاومت می‌کنند، زیرا در حال حاضر منفعت مشخصی وجود ندارد.

۴ - مراجع

[1] Industrial robot https://www.sciencedaily.com/terms/industrial_robot.html.

[2] IFR. 2019. “World Robotics 2019.” Tech. rep. International Federation of Robotics.

[3] Lobova, S.V., N.V. Bykovskaya, I.M. Vlasova, and O.V. Sidorenko. 2019. “Successful experience of formation of Industry 4.0 in various countries.” In: Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century. Springer. 121–129.

[4] Lu, Y. 2017. “Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues.” Journal of Industrial Information Integration. 6: 1–10.

[5] Horst, J. and F. Santiago. “What can policymakers learn from Germany’s Industrie 4.0 development strategy?” In: Inclusive and Sustainable Industrial Development Working Paper Series WP 22, United Nations Industrial Development Organization (2018).

https://www.unido.org/api/opentext/documents/download/11712839/unido-file-11712839.
[6] Rajkumar, R., I. Lee, L. Sha, and J. Stankovic. 2010. “Cyber-physical systems: The next computing revolution.” In: Design Automation Conference. IEEE. 731–736.
[7] Monostori, L., B. Kádár, T. Bauernhansl, S. Kondoh, S. Kumara, G. Reinhart, O. Sauer, G. Schuh, W. Sihn, and K. Ueda. 2016. “Cyber-physical systems in manufacturing.” CIRP Annals. 65(2): 621–641.
[8] ISO, ISO 10218-1: Robots for industrial environments. Safety requirements. Part 1: Robots, International Organization for Standardization, Genneva, Switzerland, (2006)
[9] RIA, Guidelines for implementing ANS/RIA/ISO 10218-1-2007. For Industrial Robots and Robot Systems. Safety Requirements, Robotic Industries Association, Ann Arbor, MI, USA, (2008)
[10] ISO 10218-1:2011-Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots -Part 1, Robots, Requisitos de Seguridad Para Robots Industriales: Parte 1: Robots, document UNE-EN ISO 10218-1:2011, Asociación Española de Normalización y Certificación, (2011)
[11] ISO 10218-2:2011 - Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 2: Robot systems and integration, Requisitos de Seguridad Para Robots: Industriales. Parte 2: Sistemas Robot e Integración, document UNE-EN ISO 10218-2:2011, Asociación Española de Normalización y Certificación, (2011)
[12] Robots and Robotic Devices—Vocabulary, 2nd ed., document ISO 8373-2012, ISO, Mar, (2012)
[13] Robots and Robotic Devices: Collaborative Robots, document ISO/TS 15066, International Organization for Standardization, (2016)
[14] R. Alami et al: ‘‘Safe and dependable physical human-robot interaction in anthropic domains: State of the art and challenges,’’ in Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots System, Oct (2006) A. Bicchi, M. A. Peshkin, and J. E. Colgate: ‘Safety for physical human robot interaction,’’ in Springer Handbook of Robotics. Berlin, Germany: Springer, pp. 1335–1348, doi: 10.1007/978-3-540-30301, (2008). A. De Santis, B. Siciliano, A. De Luca, and A. Bicchi: ‘‘An atlas of physical human–robot interaction,’’ Mechanism Mach. Theory, vol. 43, no. 3, pp. 253–270, (2008).
[15] IFR, Statistical Department. World Robotics Survey (2008).
[16] Ong, S. K. and A. Y. C. Nee. 2013. Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing. Springer Science & Business Media.
[17] OECD. 1997. “Small Business, Job Creation and Growth: Facts, Obstacles and Best Practices.” Tech. rep. Organisation for Economic Co-operation and Development.
[18] Ajaykumar, G. and C.M. Huang. 2020. “User needs and design opportunities in end-user robot programming.” In: Companion of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. 93–95.
[19] Alvite, J. G. 1987. “Robotic skin.” US Patent 4,694,231.
Argall, B.D., S. Chernova, M. Veloso, and B. Browning. 2009. “A survey of robot learning from demonstration.” Robotics and Autonomous Systems. 57(5): 469–483.
[20] Bangemann, T., S. Karnouskos, R. Camp, O. Carlsson, M. Riedl, S. McLeod,
R. Harrison, A.W. Colombo, and P. Stluka. 2014. “State of the Art in Industrial Automation.” In: Industrial Cloud-Based Cyber-Physical systems. Springer. 23–47.
[21] Billard, A., S. Calinon, R. Dillmann, and S. Schaal. 2008. “Survey: Robot pro- gramming by demonstration.” Handbook of Robotics. 59(BOOK_CHAP).
[22] Whittier, L. E., & Robinson, M: Teaching evolution to non-English proficient students by using LEGO robotics. American Secondary Education, 35(3), 19-28, (2007)
[23] Rozo, L., Calinon, S., Caldwell, D. G., Jimenez, P., &Torras, C: Learning collaborative impedance-based robot behaviors. In:AAAI conference on artificial intelligence. Bellevue, WA, USA, pp. 1422–1428.
[24] Barak, M., & Zadok, Y: Robotics projects and learning concepts in science, technology and problem solving. International Journal Technology & Design Education, 19(3), 289-307.
[25] Varney, M. W., Janoudi, A., Aslam, D. M., & Graham, D: Building young engineers: TASEM for third graders in Woodcreek Magnet Elementary School. IEEE Trans Education, 55(1), 78-82.
[26] Chang, C. W., Lee, J. H., Chao, P. Y., Wang, C. Y., & Chen, G. D: Exploring the possibility of using humanoid robots as instructional tools for teaching a second language in primary school. Educational Technology & Society, 13(2), 13–24.

requirements/ labels markings/ce-marking/index_en.htm. Accessed: 2020-05-13.
[39] Chen, Y. 2017. "Integrated and Intelligent Manufacturing: Perspectives and Enablers." Engineering. 3(5): 588–595.
[40] Cheng, B., J. Zhang, G.P. Hancke, S. Karnouskos, and A.W. Colombo. 2018. "Industrial cyberphysical systems: Realizing cloud-based big data infrastructures." IEEE Industrial Electronics Magazine. 12(1): 25–35. 27
[41] Colim, A., P. Carneiro, N. Costa, C. Faria, L. Rocha, N. Sousa, M. Silva, A.C. Braga, E. Bicho, and S. Monteiro et al. 2020. "Human-Centered Approach for the Design of a Collaborative Robotics Workstation." In: Occupational and Environmental Safety and Health II. Springer. 379–387.
[42] Correll, N., K.E. Bekris, D. Berenson, O. Brock, A. Causo, K. Hauser, K. Okada, A. Rodriguez, J.M. Romano, and P.R. Wurman. 2016. "Analysis and Observations from the First Amazon Picking Challenge." IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. 15(1): 172–188.
[43] De Schutter, J. and H. Van Brussel. 1988. "Compliant robot motion I. A formalism for specifying compliant motion tasks." The International Journal of Robotics Research. 7(4): 3–17.
[44] Dissanayake, M.G., P. Newman, S. Clark, H.F. Durrant-Whyte, and M. Csorba. 2001. "A solution to the simultaneous localization and map building (SLAM) problem." IEEE Transactions on Robotics and Automation. 17(3): 229–241.
[45] Dizdarević, J., F. Carpio, A. Jukan, and X. Masip-Bruin. 2019. "A survey of communication protocols for Internet of Things and related challenges of fog and cloud computing integration." ACM Computing Surveys (CSUR). 51(6): 1–29.
[46] Dragan, A.D., K.C. Lee, and S.S. Srinivasa. 2013. "Legibility and predictability of robot motion." In: 2013 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI). IEEE. 301–308.
[47] Drost, B., M. Ulrich, N. Navab, and S. Ilic. 2010. "Model globally, match locally: Efficient and robust 3D object recognition." In: 2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE. 998–1005.
[48] Duchaine, V., N. Lauzier, M. Baril, M.-A. Lacasse, and C. Gosselin. 2009. "A flexible robot skin for safe physical human robot interaction." In: 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE. 3676–3681.
[27] Barker, B. S., & Ansorge, J: Robotics as means to increase achievement scores in an informal learning environment. Journal Research on Technology in Education, 39(3), 229-243.
[28] Kazakoff, E. R., Sullivan, A., & Bers, M. U: The Effect of a classroom-based intensive robotics and programming workshop on sequencing ability in early childhood. Early Childhood Educational Journal, 41, 245–255.
[29] Ajaykumar, G. and C.M. Huang. 2020. "User needs and design opportunities in end-user robot programming." In: Companion of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. 93–95.
[30] Alvite, J. G. 1987. "Robotic skin." US Patent 4,694,231.
[31] Argall, B.D., S. Chernova, M. Veloso, and B. Browning. 2009. "A survey of robot learning from demonstration." Robotics and Autonomous Systems. 57(5): 469–483.
[32] Bangemann, T., S. Karnouskos, R. Camp, O. Carlsson, M. Riedl, S. McLeod, R. Harrison, A.W. Colombo, and P. Stluka. 2014. "State of the Art in Industrial Automation." In: Industrial Cloud-Based Cyber-Physical systems. Springer. 23–47.
[33] Billard, A., S. Calinon, R. Dillmann, and S. Schaal. 2008. "Survey: Robot pro- gramming by demonstration." Handbook of Robotics. 59(BOOK_CHAP).
[34] Bousmalis, K., A. Irpan, P. Wohlhart, Y. Bai, M. Kelcey, M. Kalakrishnan, L. Downs, J. Ibarz, P. Pastor, K. Konolige, S. Levine, and V. Vanhoucke. 2018. "Using Simulation and Domain Adaptation to Improve Efficiency of Deep Robotic Grasping." In: 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE. 4243–4250.
[35] Bowman, S.L., N. Atanasov, K. Daniilidis, and G.J. Pappas. 2017. "Probabilistic Data Association for Semantic SLAM." In: 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE. 1722–1729.
[36] Burghardt, A., D. Szybicki, P. Gierlak, K. Kurc, P. Pietruś, and R. Cygan. 2020. "Programming of Industrial Robots Using Virtual Reality and Digital Twins." Applied Sciences. 10(2): 486.
[37] Cakmak, M. and A.L. Thomaz. 2012. "Designing Robot Learners That Ask Good Questions." In: 2012 7th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI). IEEE. 17–24.
[38] "CE Marking." https://europa.eu/youreurope/business/product-

level performance on ImageNet classification.” In: Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. 1026–1034.

[59] Henning, K. 2013. “Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0.”

Hentout, A., M. Aouache, A. Maoudj, and A. Isma. 2018. “Key challenges and open issues of industrial collaborative robotics.” In: 2018 The 27th IEEE International Symposium on Workshop on Human-Robot Interaction: From Service to Industry (HRI-SI2018) at Robot and Human Interactive Communication. Proceedings. IEEE.

[60] Hentout, A., M. Aouache, A. Maoudj, and I. Akli. 2019. “Human–robot interaction in industrial collaborative robotics: A literature review of the decade 2008–2017.” Advanced Robotics. 33(15-16): 764–799.

[61] Hoffman, G. and C. Breazeal. 2007. “Effects of anticipatory action on human-robot teamwork efficiency, fluency, and perception of team.” In: Proceedings of the ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction. 1–8.

[62] Huber, A. and A. Weiss. 2017. “Developing human-robot interaction for an Industry 4.0 robot: How industry workers helped to improve remote-HRI to physical-HRI.” In: Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. 137–138.

IFR, Feb. 7, 2018. “Robot density rises globally.” https://ifr.org/ifr-press- releases/news/robot-density-rises-globally. 29

[63] Iqbal, T., S. Li, C. Fourie, B. Hayes, and J.A. Shah. 2019. “Fast online segmentation of activities from partial trajectories.” In: 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE. 5019–5025.

[64] ISO. 2016. “ISO 15066: 2016 (en) Robots and robotic devices–Collaborative Robots.” Tech. rep. International Organization for Standardization.

[65] Kadir, B.A., O. Broberg, and C.S. da Conceição. 2019. “Current research and future perspectives on human factors and ergonomics in Industry 4.0.” Computers & Industrial Engineering: 137, 106004.

Kaess, M., A. Ranganathan, and F. Dellaert. 2008. “iSAM: Incremental smoothing and mapping.” IEEE Transactions on Robotics. 24(6): 1365–1378.

[66] Kapinus, M., Z. Materna, D. Bambušek, and V. Beran. 2020. “End-User Robot Programming Case Study: Augmented Reality vs. Teach Pendant.” In:

[49] Eder, K., C. Harper, and U. Leonards. 2014. “Towards the safety of human-in-the-loop robotics: Challenges and opportunities for safety assurance of robotic co-workers.” In: The 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication. IEEE. 660–665.

Elprama, B., I. El Makrini, and A. Jacobs. 2016. “Acceptance of collaborative robots by factory workers: A pilot study on the importance of social cues of anthropomorphic robots.” In: International Symposium on Robot and Human Interactive Communication.

[50] Elprama, S.A., C.I. Jewell, A. Jacobs, I. El Makrini, and B. Vanderborght. 2017. “Attitudes of factory workers towards industrial and collaborative robots.” In: Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. 113–114.

[51] Fourie, C.K. 2019. “Adaptive Planning with Evidence Based Prediction for Improved Fluency in Routine Human-Robot Collaborative Tasks.” In: Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. Vol. 33. 9880–9881. 28

[52] “Franka Emika Panda Robot.” https://www.franka.de/technology. Accessed: 2020-07-27.

[53] Freedman, R.G. and S. Zilberstein. 2017. “Integration of Planning with Recognition for Responsive Interaction Using Classical Planners.” In: AAAI. 4581–4588.

[54] Fryman, J. and B. Matthias. 2012. “Safety of industrial robots: From conventional to collaborative applications.” In: ROBOTIK 2012; 7th German Conference on Robotics. VDE. 1–5.

[55] Fujita, M., Y. Domae, A. Noda, G.A. Garcia Ricardez, T. Nagatani, A. Zeng, S. Song, A. Rodriguez, A. Causo, I.M. Chen, and T. Ogasawara. 2019. “What are the important technologies for bin picking? Technology analysis of robots in competitions based on a set of performance metrics.” Advanced Robotics: 1–15.

[56] Gadre, S.Y., E. Rosen, G. Chien, E. Phillips, S. Tellex, and G. Konidaris. 2019. “End-user robot programming using mixed reality.” In: 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE. 2707–2713.

[57] Gunning, D. and D.W. Aha. 2019. “DARPA’s Explainable Artificial Intelligence Program.” AI Magazine. 40(2): 44–58.

[58] He, K., X. Zhang, S. Ren, and J. Sun. 2015. “Delving Deep into Rectifiers: Surpassing human-

[77] Michalos, G., S. Makris, P. Tsarouchi, T. Guasch, D. Kontovrakis, and G. Chryssolouris. 2015. “Design considerations for safe human-robot collaborative workplaces.” Procedia CIRP. 37: 248–253.
[78] Mobley, R.K. 2002. An Introduction to Predictive Maintenance. Elsevier.
[79] Moniz, A.B. and B.-J. Krings. 2016. “Robots working with humans or humans working with robots? Searching for social dimensions in new human-robot interaction in industry.” Societies. 6(3): 23.
[80] Mourtzis, D. 2019. “Simulation in the design and operation of manufacturing systems: State of the art and new trends.” International Journal of Production Research: 1–23.
[81] Mourtzis, D., M. Doukas, and D. Bernidaki. 2014. “Simulation in manufacturing: Review and challenges.” Procedia CIRP. 25: 213–229.
[82] “OPC Unified Architecture.” https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/. Accessed: 2020-07-30.
[83] Pacaux-Lemoine, M.-P., D. Trentesaux, G.Z. Rey, and P. Millot. 2017. “Designing intelligent manufacturing systems through Human-Machine Cooperation principles: A human-centered approach.” Computers & Industrial Engineering. 111: 581–595.
[84] Pan, S.J. and Q. Yang. 2009. “A survey on transfer learning.” IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. 22(10): 1345–1359.
[85] Perzylo, A., N. Somani, S. Profanter, M. Rickert, and A. Knoll. 2015. “Toward efficient robot teach-in and semantic process descriptions for small lot sizes.” In: Proceedings of the Workshop on Combining AI Reasoning and Cognitive Science with Robotics, Robotics: Science and Systems (RSS).
[86] Peternel, L., N. Tsagarakis, D. Caldwell, and A. Ajoudani. 2018. “Robot adaptation to human physical fatigue in human–robot co-manipulation.” Autonomous Robots. 42(5): 1011–1021.
[87] Qi, C.R., H. Su, K. Mo, and L.J. Guibas. 2017. “PointNet: Deep learning on point sets for 3D classification and segmentation.” In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 652–660. 31
[88] Quillen, D., E. Jang, O. Nachum, C. Finn, J. Ibarz, and S. Levine. 2018. “Deep reinforcement learning for vision-based robotic grasping: A simulated comparative evaluation of off-policy methods.” In: 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE. 6284–6291.
[89] Ramos, F., R.C. Possas, and D. Fox. 2019. “BayesSim: Adaptive domain randomization via Companion of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. 281–283.
[67] Krizhevsky, A., I. Sutskever, and G.E. Hinton. 2012. “ImageNet classification with deep convolutional neural networks.” In: Advances in neural information processing systems. 1097–1105.
“KUKA iiwa Industrial Robot.” https://www.kuka.com/en-us/products/robotics-systems/industrial-robots/lbr-iiwa. Accessed: 2020-07-27.
[68] Lamon, E., M. Leonori, W. Kim, and A. Ajoudani. 2020. “Towards an Intelligent Collaborative Robotic System for Mixed Case Palletizing.” In: 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA).
[69] Lasota, P.A., T. Fong, and J.A. Shah. 2017. “A survey of methods for safe human-robot interaction.” Foundations and Trends in Robotics. 5(4): 261–349.
[70] Lasota, P.A., G.F. Rossano, and J.A. Shah. 2014. “Toward safe close-proximity human-robot interaction with standard industrial robots.” In: 2014 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE). IEEE. 339–344.
[71] LeCun, Y., and Y. Bengio et al. 1995. “Convolutional networks for images, speech, and time-series.” The Handbook of Brain Theory and Neural Networks. 3361(10): 1995.
[72] Lee, M.H. 2000. “Tactile sensing: New directions, new challenges.” The International Journal of Robotics Research. 19(7): 636–643.
[73] Levine, S., C. Finn, T. Darrell, and P. Abbeel. 2016. “End-to-end training of deep visuomotor policies.” The Journal of Machine Learning Research. 17(1): 1334–1373.
[74] Mahler, J., J. Liang, S. Niyaz, M. Laskey, R. Doan, X. Liu, J.A. Ojea, and 30
K. Goldberg. 2017. “Dex-Net 2.0: Deep learning to plan robust grasps with synthetic point clouds and analytic grasp metrics.” arXiv preprint arXiv:1703.09312.
[75] Mainprice, J. and D. Berenson. 2013. “Human-robot collaborative manipulation planning using early prediction of human motion.” In: 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE. 299–306.
[76] Meneweger, T., D. Wurhofer, V. Fuchsberger, and M. Tscheligi. 2015. “Working together with industrial robots: Experiencing robots in a production environment.” In: 2015 24th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN). IEEE. 833–838.

probabilistic inference for robotics simulators.” arXiv preprint arXiv:1906.01728.
[90] “Robot Operating System (ROS).” https://www.ros.org/about-ros/. Accessed: 2020-05-13.
[91] Ross, A.S. and F. Doshi-Velez. 2018. “Improving the adversarial robustness and interpretability of deep neural networks by regularizing their input gradients.” In: Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence.
[92] Sauppé, A. and B. Mutlu. 2015. “The social impact of a robot co-worker in industrial settings.” In: Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems. 3613–3622.
[93] Steinmetz, F., V. Nitsch, and F. Stulp. 2019. “Intuitive Task-Level Programming by Demonstration Through Semantic Skill Recognition.” IEEE Robotics and Automation Letters. 4(4): 3742–3749.
[94] Sünderhauf, N. and P. Protzel. 2012. “Switchable constraints for robust pose graph SLAM.” In: 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE. 1879–1884.
[95] Tan, C., F. Sun, T. Kong, W. Zhang, C. Yang, and C. Liu. 2018. “A survey on deep transfer learning.” In: 27th International Conference on Artificial Neural Networks. Springer. 270–279.
[96] Tian, S., F. Ebert, D. Jayaraman, M. Mudigonda, C. Finn, R. Calandra, and S. Levine. 2019. “Manipulation by feel: Touch-based control with deep predictive models.” In: 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE. 818–824.
[97] Tremblay, J., T. To, B. Sundaralingam, Y. Xiang, D. Fox, and S. Birchfield. 2018. “Deep object pose estimation for semantic robotic grasping of household objects.” In: Conference on Robot Learning (CoRL) 2018. arXiv preprint arXiv:1809.10790.
[98] Turner, D. 2020. “Quirkos 2.2.” Software Resource.
[99] Ulmen, J. and M. Cutkosky. 2010. “A robust, low-cost and low-noise artificial skin for human-friendly robots.” In: 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE. 4836–4841.
[100] Lindsay Sanneman, Christopher Fourie, Julie Shah (2020), “The State of Industrial Robotics: Emerging Technologies, Challenges, and Key Research Directions”, MIT Work of Future, RESEARCH BRIEF 15, NOVEMBER 2020.
[101] ANTONI GRAU, MARINA INDRI, LUCIA LO BELLO, THILO SAUTER (2021), “Robots in Industry The Past, Present, and Future of a Growing Collaboration With Humans”, IEEE INDUSTRIAL ELECTRONICS MAGAZINE, MARCH 2021.
[102] B.Vinod, V.Veeraparthiban, T.Aravinthkumar, M.Suresh, “Review On Industrial Robot In Industries And Educational Institutions”, Nat. Volatiles & Essent. Oils, 2021; 8(5): 3509 – 3521.