سیستم ایمنی ربات‌های صنعتی و طراحی صنعتی مبتنی‌بر فناوری آموزش واقعیت مجازی: روند و امکانات جدید ربات‌ها

علیرضا محمودی‌فرد[۱] ، علی ملکی[۲*]

[۱] دانشجوی‌کارشناسی‌ارشد 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: ۱۴۰۲/۰۷/۱۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۲۰
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۲۲

کلمات کلیدی:
واقعیت مجازی
فناوری شبیه‌سازی
ربات صنعتی
سینماتیک ربات
رباتیک
سیستم ایمنی ربات‌ها

چکیده

در بسیاری از رشته‌ها، واقعیت مجازی[۱]برای کمک به تصمیم‌گیری در فرآیندهای آموزش، طراحی و ارزیابی استفاده شده است؛ هر دو گروه آموزشی و صنعتی، در دو دهه گذشته به دانش گسترده‌ای بر اساس انواع موضوعات VR کمک کرده‌اند. ربات‌های صنعتی که قبلاً هنگام کار در کارخانه کاملاً از دسترسی انسان جدا شده بودند، در حال به‌دست آوردن قابلیت‌های کنترلی هستند که آن‌ها را قادر می‌سازد تا با اشکال جدید عملکرد و خطرات کنترل شده مناسب برای دسترسی کارگران انسانی به فضای کار ربات در حین کار مطابقت داشته باشند. VR در سال‌های اخیر، به صنعت گسترش یافته است؛ اما اکثر کاربردهای آن شامل ربات‌های صنعتی نمی‌شود. برای بررسی کاربرد فناوری واقعیت مجازی در طراحی صنعتی، بهتر است فعالیت‌های طراحی را با سیستم تولید یکپارچه کامپیوتری ترکیب کرده و فرصت‌های جدیدی را برای نوآوری طراحی صنعتی به ارمغان آوریم؛ بنابراین در این مقاله، به بررسی کاربرد سیستم طراحی تعاملی صنعتی مبتنی بر فناوری واقعیت مجازی در حوزه آموزش پرداخته شده است؛ ابتدا، طراحی عملکرد و طرح سیستم مونتاژ و تنظیم ربات صنعتی طراحی شده و مدل تعیین می‌شود؛ در آخر،HTC VIVE به‌عنوان تجهیزات VR استفاده می‌شود؛ این تحقیق نشان می‌دهد که طراحی مفسر دستورالعمل ماشین حرکت بسیار موثر است و مراحل خاص سیستم برای تحقق کنترل بلادرنگ نیز ارائه شده است؛ امکان‌سنجی سیستم از طریق تجزیه و تحلیل کاربردهای معمولی ربات‌های صنعتی نیز در این مقاله تأیید می‌شود.

[۱] VR

۱ - مقدمه

* طراحی صنعتی مبتنی بر فناوری واقعیت مجازی (VR)، یک نظریه و روش طراحی محصول مبتنی بر فناوری اطلاعات مدرن و یکپارچه‌سازی فناوری واقعیت مجازی و فناوری ساخت پیشرفته مدرن است [۱ و ۳۵]. فناوری اطلاعات مدرن، فناوری مبتنی بر رایانه برای دریافت، ذخیره، انتقال و پردازش انواع اطلاعات رسانه‌ای است. VR یک فناوری رابط انسان و ماشین است که به‌طور واقعی رفتار انسان مانند مشاهده، گوش دادن و حرکت در محیط طبیعی را شبیه-سازی می‌کند؛ به‌طور خلاصه، این یک سیستم کامپیوتری است که می‌تواند دنیای مجازی را ایجاد و تجربه کند [۲]. فناوری پیاده‌سازی مجازی، نه تنها به فناوری‌هایی اطلاق می‌شود که از کلاه ایمنی و دستکش استفاده می‌کنند، بلکه شامل تمام فناوری‌ها و روش‌های مرتبط با شبیه‌سازی طبیعی و تجربه واقعی می‌شود؛ هدف اساسی آن، دست‌یابی به تجربه واقعی و تعامل انسان و کامپیوتر بر اساس مهارت‌های طبیعی است؛ سیستم‌هایی که می‌توانند به آن دست یابند، یا تا حدی دست‌یابی به چنین اهدافی را می‌توان سیستم‌های VR نامید؛ فناوری‌های پیشرفته ساخت مدرن شامل تولید ناب می‌شود: نیاز به ساده‌سازی فرآیند تولید، کاهش حجم اطلاعات، حذف سازمان‌دهی بیش از حد تولید و ساده‌سازی و استانداردسازی محصولات و فرآیند تولید آن‌ها تا حد امکان دارد؛ همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است.

مهندسی همزمان، راهی برای طراحی کالاها و فرآیندهای مرتبط با آن‌ها (مانند ساخت و پشتیبانی) به‌صورت هماهنگ و موازی است.

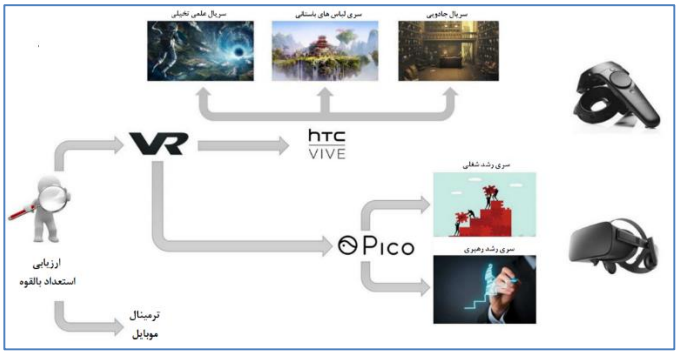
تولید چابک: شرکای خود را برای ایجاد یک شرکت مجازی بر اساس رقابت و شهرت انتخاب می‌کند، کار را تقسیم می‌کند، همکاری می‌کند و با یک هدف مشترک برای بهبود رقابت کلی و واکنش سریع برای رفع نیازهای کاربران، کار می‌کند.

تولید سبز: این یک حالت تولید مدرن است که اثرات زیست‌محیطی و بهره‌وری منابع را در نظر می‌گیرد؛ هدف آن، به حداقل رساندن اثرات مضر بر محیط زیست و افزایش بهره‌وری منابع در کل چرخه عمر محصول، از طراحی تا ساخت، بسته‌بندی، حمل و نقل و ضایعات [۳ و ۳۵] و نه طراحی صنعتی است.

طراحی صنعتی، نه تنها شامل طراحی مهندسی سنتی و طراحی اجزای صنعتی می‌شود، بلکه شامل نظرسنجی از مصرف‌کننده، برنامه‌ریزی روابط عمومی، تحقیقات بازار، طراحی وب‌سایت سازمانی، تحقیقات ارگونومی و نگهداری می‌شود تا در خدمت کل فرآیند فروش و تولید محصول باشد [۴]. فن‌آوری‌های واقعیت مجازی، برای کمک به روش تدریس یادگیری در مقالات آموزشی برای مدت طولانی استفاده می‌شود [۵]. با فن‌آوری‌های جدید که کارآمدتر و ارزان‌تر هستند، استفاده از آن‌ها در تمام سطوح آموزشی، گسترش یافته است. بازرگان و همکاران [۶ و ۳۵]، یک متاآنالیز در مورد تأثیر ابزارهای یادگیری مبتنی بر واقعیت مجازی بر عملکرد دانش‌آموزان دانشگاه و دبیرستان ارائه می‌کنند که شامل یک متاآنالیز از ۶۹ مطالعه تحقیقاتی شامل بیش از ۸۰۰۰ دانش‌آموز است؛ یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که یادگیری با منابع بازی خاص که بالاترین مزایا را ارائه می‌دهند، بهبود یافته است؛ اگرچه این فناوری، دارای مزایای مختلفی است، اما دارای معایبی نیز می باشد.

به گفته پتراکو [۷]، دانش‌آموزان باید با محیط‌های دنیای مجازی بیشتر آشنا شوند و توانایی‌های فنی خود را افزایش دهند؛ همچنین می‌توان به چالش‌های فنی مرتبط با این محیط‌های تولید شده توسط رایانه پرداخت. دالگارنو و همکاران [۸]، دریافتند که استفاده از محیط‌های مجازی سه‌بعدی همه‌جانبه، مستلزم سطح بالایی از آموزش و پشتیبانی آموزشی است که استفاده از آن‌ها را چالش‌برانگیز می‌کند؛ به همین ترتیب، ارزش محیط‌های واقعیت مجازی در حوزه مهندسی، به آموزش مهندسی دانشگاه که دارای پروژه‌های واقعیت مجازی متعددی است، تعمیم یافته است. چندین طرح تحقیقاتی برای ارائه پیشنهادهای روش شناختی تکمیل شده است؛ می توان از آن در انواع تنظیمات آموزش عالی، از جمله آموزش مهندسی استفاده کرد؛ در نتیجه، بل و فوگلر [۹ و ۳۵] مجموعه‌ای از توصیه‌ها را برای هدایت رویکردهای آموزشی به فراگیران بسته به سبک‌های یادگیری-تدریس مربی و دانش‌آموز، که اغلب با هم متفاوت هستند، بیان کردند؛ دانش‌آموزانی که از ماژول VR استفاده می‌کردند، نتایج بهتری داشتند که نشان‌دهنده کسب قوی‌تر شایستگی‌های ارزیابی‌شده است؛ علاوه بر این، از آنجایی که این یادگیرندگان نشان دادند که ابزار VR به یادگیری آن‌ها کمک کرده است، اکثر استفاده از فناوری به حوزه انگیزش منتقل می‌شود؛ به همین ترتیب هاشمی پور و همکاران [۱۰]، یک محیط VR مبتنی بر ماژول را با هدف صنایع مکانیک و مهندسی معرفی کردند؛ قابلیت استفاده این روش با استفاده از تکنیک موجودی اندازه‌گیری قابلیت استفاده نرم‌افزار Kirakowski [۱۱ و ۳۵]، با پنج دسته VR اضافه شده است: احساس حضور، نقاط خروج و ورود آشکار، جهت‌گیری و ناوبری، بازخورد واقعی و دیدگاه‌های وفادار ارزیابی می‌شود. Sutcliffe و Gault [۱۲] مجموعه معیارهایی را برای محاسبه قابلیت استفاده برنامه VR طراحی کردند؛ ۱۲ معیار وجود دارد که کاربران باید امتیاز دهند و همه آن‌ها اساساً بر روی رابط کاربری آن‌ها هدایت می‌شوند. سایر تجربیات دانشگاه [۱۳] بر اساس سرمایه‌گذاری‌های فرارشته‌ای بوده است. هافنر و همکاران [۱۴]، توصیه کردند که توسعه ساخت و

طراحی رباتیک، یک گام اساسی در یادگیری، طراحی و توسعه دنیای مجازی است؛ همچنین با ارائه پروژه‌های صنعتی در بین دانشجویان در مقاطع مختلف، توانایی‌های متعدد توسعه را تشویق می‌کند؛ نتایج نشان‌دهنده بهبود کیفیت پرورش است، همان‌طور که با بررسی پروژه‌ها و سری پرسش‌نامه مشخص شد. هدف اصلی این مطالعه توسعه، ساخت و بررسی یک مدل VR همه‌جانبه کم‌هزینه [۱۵،۱۶] برای بهبود الزامات عملکردی سیستم از دیدگاه آموزش، آموزش و کاربرد عملی ربات‌های صنعتی است. این تحقیق بر روی ماژول‌های توسعه سیستم متمرکز است که عبارتند از: ماژول مونتاژ ربات صنعتی، ماژول حرکت ربات صنعتی و ماژول کاربردی معمولی ربات صنعتی [۳۵].



شکل ۱- نمودار جریان سیستم VR [۳۵]

۲- متن بررسی

۲-۱- مروری تاریخی بر ربات‌های صنعتی و الزامات ایمنی

* امروزه ربات‌ها نقش بسیار مهمی در جامعه ما دارند؛ هیچ کجا به اندازه تولید و محیط صنعتی در مقیاس جهانی قابل مشاهده نیستند؛ بهره‌وری کارگران و رقابت شرکتی، عناصر کلیدی در یک اقتصاد سالم هستند و هر دو با استفاده از اتوماسیون صنعتی و ربات‌ها افزایش می‌یابند؛ این قضیه با توجه به تعداد ربات‌هایی که امروزه در حال استفاده هستند، آشکار است که طبق تحلیل آماری فدراسیون بین‌المللی رباتیک، ۱،۳ میلیون واحد در سراسر جهان تخمین زده می‌شود [۱۷ و ۳۴].

حتی با افزایش تعداد، ربات‌های صنعتی همچنان به تکامل خود ادامه می‌دهند تا به نفع کارگران در سراسر جهان، هم در بهره‌وری و هم از نظر ایمنی عمل کنند. از همان آغاز صنعت رباتیک، ایمنی یک نگرانی بسیار مهم بوده است و یک داستان موفقیت برای صنعت؛ ربات‌های صنعتی اولیه، با نیروی هیدرولیکی باعث نگرانی زیادی برای ایمنی شدند و این نگرانی موجه بود؛ این ربات‌ها، بزرگ و قدرتمند بودند و در مقایسه با سایر دستگاه‌های آن زمان، از مزیت مکانیکی بسیار خوبی برخوردار بودند؛ کنترل‌ها ساده بودند و واقعاً قابل اعتماد نبودند؛ در حالی‌که تولیدکنندگان اولیه ربات‌ها، به‌طور موجهی از پیشرفت‌های فناوری در اتوماسیون که این ماشین‌ها به صنعت آورده بودند راضی بودند، نگرانی برای ایمنی انسان‌هایی که در اطراف این ماشین‌ها کار می‌کردند، به این نتیجه بدیهی منجر شد که آن‌ها را از دنیا دور کند و اجازه ندهند کسی به آن نزدیک شود؛ البته این یک راه‌حل موفقیت‌آمیز بود و ایمنی حداقل برای عملیات‌های عادی که نیازی به دخالت انسان نداشت، به‌دست آمد [۳۴].

ربات‌های اولیه، کارهای زیادی برای حذف انسان از مشاغل خطرناک، سخت و کثیف در کارخانه انجام دادند؛ زندگی کارگران بسیار بهبود یافت و شرایط کار در اطراف کارخانه بهبود یافت؛ به‌عنوان مثال می‌توان به کارهای ریخته‌گری، آهنگری و مهرزنی اشاره کرد. برای اطمینان از ایمنی در محل کار، کار در ایالات متحده و اروپا برای تدوین الزامات ایمنی برای انسان‌هایی که در اطراف ربات‌های صنعتی کار می‌کنند، آغاز شد؛ در ایالات متحده، انجمن صنایع رباتیک (RIA) استاندارد ایمنی ربات R15.06 را از طریق موسسه استاندارد ملی امریکا (ANSI) توسعه داد؛ در اروپا، ISO اولین ویرایش ISO ۱۰۲۱۸ را در سال ۱۹۹۲ ارائه کرد که متعاقباً توسط CEN به‌عنوان EN 775 پذیرفته شد [۳۴].

توسعه فناوری ربات ادامه یافت و ربات‌های محرک الکتریکی جدیدتر و توانمندتر با کنترل‌های سروو، استفاده از ربات‌های صنعتی را در محل کار بسیار گسترش دادند؛ در حالی‌که هنوز از نظر ایمنی، به اندازه ربات‌های امروزی قابل اعتماد نیستند، این ماشین های جدید از نظر فناوری پیشرفته، مشاغل صنعتی بیشتری را تغییر دادند که به دقت و تکرارپذیری بیشتری نیاز داشتند، به‌ویژه در کاربردهای جوشکاری، هم نقطه‌ای و هم قوس الکتریکی. برای سال‌های متمادی، تقریباً نیمی از کاربردهای ربات‌ها را جوشکاری تشکیل می‌داد؛ جوشکاری امروزه به‌عنوان یک کاربرد پیشرو در ربات‌های صنعتی ادامه دارد. الزامات ایمنی نیز در طول زمان با صدور ANSI/RIA R15.06-1992 و ISO 10218:1992 (EN 775) تکامل یافت؛ در حالی‌که در حوزه ایمنی ربات‌های صنعتی مشابه، این دو سند به ایمنی پرسنل در یک زمینه نمی‌پردازند، با سند ایالات متحده اطلاعات دقیق‌تری برای ادغام و استفاده از ربات‌ها ارائه می‌دهد؛ در حالی‌که سند ISO تاکید بیشتری بر الزامات تولیدکنندگان ربات‌ها دارد [۳۴ و ۳۵].

مفهوم رایج ایمنی قفل کردن ربات دور از دسترس انسان ادامه یافت، اگرچه بیشتر در مورد نیاز انسان به تعامل با ربات‌ها، به‌ویژه به‌دلیل نیاز به مداخلات تعمیر و نگهداری و تنظیم، فکر شد؛ در مورد ارتقاء کنترل و عملکرد صحیح ربات‌ها و انتخاب حفاظت مناسب، فکر بیشتری صورت گرفت؛ از آنجایی‌که هر نصب ربات از نظر کاربرد،

مکان و عملکرد منحصر به فرد است، به‌طور کلی درک شد که ارزیابی ریسک، به‌ویژه ارزیابی ریسک ساختاریافته، برای ارزیابی صحیح سطوح آسیب ممکن در یک سیستم طراحی شده مورد نیاز است. اهمیت درک هر دو وظیفه و خطر مرتبط با آن کار، منجر به پیشنهاد روش ارزیابی ریسک مبتنی بر وظیفه شد که در ANSI/RIA R15.06-1999 معرفی شد [۳۴].

فن‌آوری ربات، به تکامل خود ادامه می‌دهد، اما پس از پایان قرن، عناصر جدید بسیاری از کنترل ربات معرفی شد که بدیهی است که زمان تکامل استانداردهای ایمنی برای شناخت پیشرفت‌ها و ارائه راهنمایی‌های جدید و بهتر برای تعامل انسان با ربات‌های صنعتی فرا رسیده است. کار برای تکامل ANSI/RIA R15.06-1999 از ایالات متحده به عرصه استانداردهای ISO 10218 آغاز شد؛ بنابراین کار بر روی یک استاندارد واقعا جهانی برای ایمنی ربات متولد شد؛ ثمرات این کار، که تحت نظارت ISO TC184/SC2 WG3 برای ربات‌های صنعتی [۱۸ و ۳۴] انجام شد، برای اولین بار منجر به انتشار ISO ۱۰۲۱۸-۱ در سال ۲۰۰۶ شد که فقط به ربات اختصاص یافته بود؛ این یک سند جامع برای سازنده ربات بود تا راهنمایی در ساخت ربات‌های صنعتی مناسب ارائه دهد؛ علاوه بر بسیاری از بهبودهای کنترلی انجام شده، تشخیص تغییرات حتی بیشتر و هیجان‌انگیز برای آینده تسهیل شد؛ کار تا سال ۲۰۱۱ برای توسعه الزامات ایمنی برای سیستم ربات و یکپارچه‌سازی ادامه یافت که در ژوئیه به‌عنوان ISO ۱۰۲۱۸-۲:۲۰۱۱ منتشر شد [۱۹]؛ به‌طور همزمان ویرایش دوم ISO ۱۰۲۱۸-۱:۲۰۱۱ منتشر شد تا هر دو سند همگام باشند؛ اسناد ISO ۱۰۲۱۸، هر دو بخش ۱ و ۲، به‌عنوان استانداردهای هماهنگ در اتحادیه اروپا منتشر شده است؛ در کشورهای دیگر به رسمیت شناختن این استانداردها به‌عنوان استانداردهای ملی خود ادامه دارد؛ در واقع، کار در ایالات متحده امریکا و کانادا برای تولید یک سند ترکیبی یکپارچه به‌ترتیب به‌عنوان ANSI/RIA R15.06 یا CAN/CSA Z434 ادامه دارد که شامل سری استانداردهای ISO ۱۰۲۱۸ نیز می‌باشد؛ یک نمای کلی جدولی، از وضعیت فعلی استانداردهای ایمنی ربات ها در جدول ۱ ارائه شده است. استانداردهای ISO جدید برای ایمنی ربات‌های صنعتی، اسنادی پیشرو هستند که امکان استفاده ایمن از فناوری‌های جدید و قابلیت-های ربات‌های صنعتی جدید را فراهم می‌کنند؛ ظهور کنترل‌های نرم‌افزاری جدید «رده‌بندی ایمنی» برای ربات‌های صنعتی، کاربردهای جدید را ممکن می‌سازد و امکان معرفی قابلیت‌های اتوماسیون جدید را در بازارهای جدید ممکن می‌سازد؛ قابل توجه-ترین ظهور "ربات مشارکتی" است که در آن انسان و ماشین در هماهنگی نزدیک با یکدیگر کار می‌کنند؛ دیگر ربات در پشت حصار قفل نمی‌شود و دسترسی را ممنوع می‌کند، بلکه انسان مجاز است در داخل منطقه «حصارکشی شده» مستقیماً یک فضای کاری مشترک با ربات به اشتراک بگذارد [۳۴].

جدول ۱- وضعیت استانداردهای ایمنی برای ربات‌ها و ماشین‌آلات قابل اجرا در اروپا و امریکای شمالی [۳۴]

	اروپا	امریکای شمالی
استانداردهای ایمنی ربات	ISO 10218-1:2011 (ربات) ISO 10218-2:2011 (سیستم های ربات)	ANSI/RIA R15.06-2009 CAN/CSA Z434-۲۰۰۸ (ربات‌ها و سیستم‌های ربات)
استانداردهای ایمنی ماشین-آلات	ISO 12100:2010 (ارزیابی ریسک) ISO 13849-1:2006 (ایمنی عملکردی) IEC 62061:2005 (ایمنی عملکردی)	ANSI B11.0-2011
قانون ایمنی ماشین‌آلات	دستورالعمل ماشین آلات اروپا	(بدون معادل)
مقررات ایمنی محل کار	به‌عنوان مثال، دستورالعمل-های انجمن حرفه‌ای (DE)	مقررات استانی OSHA 1910 (ایالات متحده) (CA)

۲-۲- حرکت انسان‌ها و ربات‌ها با یکدیگر در کارخانه

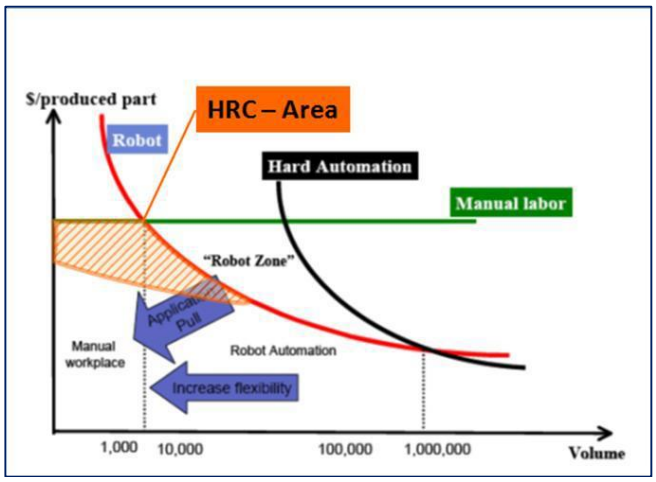
* در دهه گذشته، علاقه فزاینده‌ای به فناوری و ارتباط اقتصادی نزدیک‌تر کردن انسان‌ها و ربات‌ها به یکدیگر در محیط کار تولید مشاهده شده است [۲۰]، [۲۱]؛ همان‌طور که الزامات انعطاف‌پذیری همچنان در حال افزایش است، درجه بهینه اتوماسیون اغلب کمتر از ۱۰۰٪ است و نقش کارگر انسانی همچنان مهم است [۲۲]، [۲۳]. ربات‌های صنعتی به‌دلیل کمک به کیفیت محصول و انعطاف‌پذیری ذاتی‌شان، نقش مهمی در محیط تولید آینده خواهند داشت [۳۴]. به‌نظر می‌رسد که استقرار مرسوم ربات‌های صنعتی برای خودکارسازی فرآیندهای تولید، دارای مزایای اقتصادی ویژه‌ای نسبت به اتوماسیون سخت و نسبت به کار دستی برای طیف متوسطی از اندازه‌ها است. نرم کردن محدودیت‌های اتوماسیون رباتیک برای توزیع وظایف بین انسان و ربات‌ها، بعد جدیدی را در این بحث معرفی می‌کند و کاربرد ربات‌ها را برای تولید صنعتی گسترش می‌دهد. در شکل ۲ نشان می‌دهیم که چگونه معرفی برنامه‌های HRC حوزه ارتباط ربات‌های صنعتی را برای خودکارسازی وظایف تولید افزایش می‌دهد [۳۴].

۲-۳- انواع عملیات مشترک انسان و ربات

تا همین اواخر، کاربران ربات که علاقمند به همکاری نزدیک‌تر بین ربات‌ها و انسان‌ها در برنامه‌های خود بودند، دریافتند که راهنمایی-های کمی برای جنبه‌های ایمنی چنین تاسیساتی وجود دارد و بنابراین، از کار اکتشافی بدون پشتوانه استانداردها طفره رفته‌اند؛ با تجدید نظر اخیر استاندارد ISO 10218 [۳]، توجه صریح به نیازهای کاربرانی که مایل به استقرار همکاری انسان و ربات (HRC) در برنامه‌های خود هستند، پرداخته شده است؛ در حالی‌که عملکرد ایمنی پایه آزمایش شده و اثبات شده ربات‌های صنعتی در متن استاندارد مرتبط و موجود است، عملکردهای جدید مرتبط با HRC در حال حاضر مبتنی بر استفاده عملی گسترده نیستند؛ این وضعیت بر خلاف وضعیت معمول پروژه‌های استانداردسازی است که در آن گروه‌هایی از کارشناسان مجموعه شناخته شده بهترین شیوه‌ها را تجمیع می‌کنند؛ در مورد HRC، تلاش استانداردسازی برای ایمنی در واقع همکاری نزدیک بین کارشناسان فنی در صنعت، دانشگاه و سازمان‌های تحقیقاتی است که هدف آن توسعه همزمان مجموعه دانش حاکم بر جنبه‌های ایمنی HRC و همچنین مستندسازی این موضوع در متن است.

۲-۴- اسناد استاندارد

دو بخش ISO 10218 در حال حاضر شرح بسیار مختصری از الزامات ایمنی اساسی برای چهار نوع اساسی عملیات مشترک ارائه می‌دهد؛ جزئیات بیشتر در سند آینده در دسترس خواهد بود، مشخصات فنی ISO/TS 15066 [۸]، که در حال حاضر در کمیته ISO/TC 184/SC 2/WG 3 [۲] در حال توسعه است. هدف این است که سندی با راهنمایی کمی در زمینه کاربردهای مشترک انسان و ربات ارائه شود؛ این برنامه‌ها را می‌توان به روش‌های مختلفی طبقه‌بندی کرد، اما هرگونه طبقه‌بندی مبتنی بر این است که بخشی از فضای کاری در سلول وجود دارد که هم برای ربات و هم برای انسان به‌طور فیزیکی بدون مانع در دسترس است. این جلد "فضای کار مشترک" (CWS) نامیده می‌شود. برای اهداف استانداردسازی، انواع اساسی احتمالی عملیات مشترک انتخاب شده‌اند تا منعکس-کننده تعدادی از روش‌های اساسی متفاوت برای کاهش خطر زمانی که انسان و ربات‌ها با هم کار می‌کنند؛ این انواع اساسی عملیات مشارکتی، با استفاده از عناوین بخش‌ها در اسناد استانداردسازی، همراه با معیار اصلی کاهش ریسک برای هر مورد، عبارتند از:



شکل ۲- معرفی HRC کاربرد ربات‌های صنعتی را به بخش بزرگ‌تری از تولیدات صنعتی گسترش می‌دهد (اقتباس از گزارش جهانی رباتیک IFR، ۲۰۰۷) [۳۴]

سیستم‌های ربات صنعتی استاندارد به‌دلیل اینرسی، ساختار و نیروهای فرآیندی، خطراتی را برای انسان ایجاد می‌کنند؛ استراتژی-های حفاظتی، همان‌طور که در استانداردهای ایمنی ذکر شده است، باید برای اطمینان از ایمنی اپراتور اعمال شود. چالش کنونی تحقق محیط تولید انعطاف‌پذیر آینده با ترکیبی از کارگران انسانی و ربات‌ها، در اصل یک محیط تولید تعاونی است؛ در اینجا، انسان‌ها و ربات‌ها هر کدام وظایفی را بر عهده می‌گیرند که برای آن‌ها مناسب‌تر است، با تعامل مکرر و رویه‌های مشترک. جدایی شدید زمانی و مکانی بین آن‌ها برداشته می‌شود. چندین نسخه از این نوع عملیات مشترک پیش‌بینی شده است و الزامات توانمندسازی در استاندارد ISO ۱۰۲۱۸ ایجاد شده است؛ این موارد در بخش بعدی با کمی جزئیات بیشتر، مورد بررسی قرار خواهند گرفت [۳۴].

۲-۵- انواع عملیات مشترک انسان و ربات

* تا همین اواخر، کاربران ربات که علاقمند به همکاری نزدیک‌تر بین ربات‌ها و انسان‌ها در برنامه‌های خود بودند، دریافتند که راهنمایی-های کمی برای جنبه‌های ایمنی چنین تاسیساتی وجود دارد و بنابراین، از کار اکتشافی بدون پشتوانه استانداردها طفره رفته‌اند. با تجدیدنظر اخیر استاندارد ISO 10218 [۱۹]، توجه صریح به نیازهای کاربرانی که مایل به استقرار همکاری انسان و ربات[۲]در برنامه‌های خود هستند، پرداخته شده است؛ در حالی‌که عملکرد ایمنی پایه آزمایش شده و اثبات شده ربات‌های صنعتی در متن استاندارد مرتبط و موجود است، عملکردهای جدید مرتبط با HRC در حال حاضر مبتنی بر استفاده عملی گسترده نیستند [۳۴]. این

[۲] HRC

وضعیت بر خلاف وضعیت معمول پروژه‌های استانداردسازی است که در آن گروه‌هایی از کارشناسان مجموعه شناخته شده بهترین شیوه‌ها را تجمیع می‌کنند؛ در مورد HRC، تلاش استانداردسازی برای ایمنی در واقع همکاری نزدیک بین کارشناسان فنی در صنعت، دانشگاه و سازمان‌های تحقیقاتی است که هدف آن توسعه همزمان مجموعه دانش حاکم بر جنبه‌های ایمنی HRC و همچنین مستندسازی این موضوع در متن است. اسناد استاندارد دو بخش ISO 10218 در حال حاضر شرح بسیار مختصری از الزامات ایمنی اساسی برای چهار نوع اساسی عملیات مشترک ارائه می‌دهد جزئیات بیشتر در سند آینده در دسترس خواهد بود، مشخصات فنی ISO/TS 15066 [۲۴]، که در حال حاضر در کمیته ISO/TC 184/SC 2/WG 3 [۱۸ و ۳۴] در حال توسعه است. هدف این است که سندی با راهنمایی کمی در زمینه کاربردهای مشترک انسان و ربات ارائه شود؛ این برنامه‌ها را می‌توان به روش‌های مختلفی طبقه‌بندی کرد، اما هرگونه طبقه‌بندی مبتنی بر این است که بخشی از فضای کاری در سلول وجود دارد که هم برای ربات و هم برای انسان، به‌طور فیزیکی بدون مانع در دسترس است؛ این جلد "فضای کار مشترک"[۳]نامیده می‌شود؛ برای اهداف استانداردسازی، انواع اساسی احتمالی عملیات مشترک انتخاب شده‌اند تا منعکس‌کننده تعدادی از روش‌های اساسی متفاوت برای کاهش خطر زمانی که انسان و ربات‌ها با هم کار می‌کنند، باشند؛ این انواع اساسی عملیات مشارکتی، با استفاده از عناوین بخش‌ها در اسناد استانداردسازی، همراه با معیار اصلی کاهش ریسک برای هر مورد، عبارتند از [۳۴]:

- **توقف نظارت شده با درجه ایمنی**

در حالی‌که کارگر در CWS است، ربات اجازه حرکت ندارد؛ بلکه باید موقعیت خود را حفظ کند، حتی اگر درایوهای آن هنوز انرژی داشته باشند.

- **هدایت دستی**

در اینجا، کارگر کنترل مستقیم ربات را دارد؛ حرکت تنها زمانی امکان‌پذیر است که کارگر به‌طور هدفمند، یک دستگاه ورودی را برای ایجاد حرکت مورد نظر فعال کند؛ سرعت ربات باید به مقداری که با ارزیابی ریسک به‌دست می‌آید، محدود شود.

- **نظارت بر سرعت و جداسازی**

با نظارت بر موقعیت کارگر و تطبیق سرعت و یا موقعیت ربات برای حفظ این شرایط، از تماس بین ربات متحرک و کارگر انسانی جلوگیری می‌شود.

- **محدودکننده قدرت و نیرو**

تماس بین ربات و کارگر انسانی، به‌عنوان یک رویداد عادی در طول برنامه ممکن در نظر گرفته می‌شود، اما ماهیت این تماس‌ها توسط اقدامات طراحی ذاتی ربات و یا با اقدامات کنترل درجه ایمنی کنترل می‌شود.

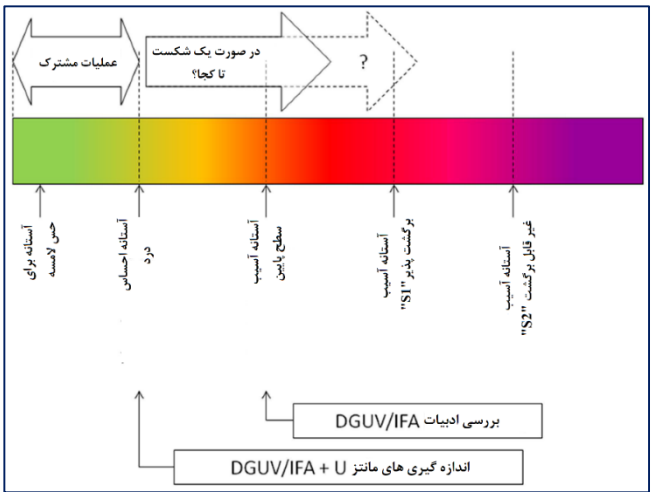
در هر صورت، هدف محدود کردن نیروهای ایستا و گذرا است که ربات قادر است به قسمت‌های در معرض بدن کارگر وارد کند؛ کاربردهای واقع‌گرایانه می‌توانند از ترکیبی از این روش‌ها تشکیل شوند؛ بنابراین، کاربردهای عملی همکاری انسان و ربات ممکن است مستلزم نظارت بر حرکت دستکاری‌کننده ربات باشد، همان‌طور که امروزه با بسیاری از گزینه‌های کنترل‌کننده ایمنی موجود با کنترل-کننده‌های ربات تجاری امکان‌پذیر است [۳۴]؛ علاوه بر این، با این حال قابلیت‌هایی وجود دارد که در حال حاضر در حال توسعه هستند؛ این‌ها شامل قابلیت‌های حسی ارائه اطلاعات مربوط به ایمنی در مورد موقعیت کارگر انسانی و پیش‌بینی قابل‌اعتماد فواصل ترمز در زمان واقعی، زمانی که کارگر و ربات در یک فضای کاری با هم تعامل دارند، می‌شود؛ اما نباید مستقیماً در تماس باشند؛ علاوه بر این، هنگامی‌که تعامل فیزیکی در برنامه گنجانده شده است، به‌ویژه الزامات سخت-گیرانه بر ماهیت این تماس وجود دارد؛ این ممکن است چالش-برانگیزترین روش جدید برای عملیات باشد، زیرا تماس، دیگر یک تابو نیست؛ ممکن است بخشی از برنامه باشد و بنابراین باید درک و کنترل شود؛ این یک تغییر پارادایم در مقایسه با کاربردهای ربات‌های صنعتی معمولی است که منجر به توسعه انواع جدیدی از کنترل ربات و همچنین انواع جدیدی از دستکاری‌کننده‌های ربات می‌شود.

تلاش‌های تحقیقاتی قابل توجهی برای مطالعه آستانه‌های مختلف مرتبط سرمایه‌گذاری شده است که باید برای درک کامل بارگذاری مکانیکی سطح پایین بدن انسان مورد استفاده قرار گیرد [۲۵]، [۲۶]، [۲۷]؛ تلاش‌ها از مدل‌سازی پویایی درگیر، نه فقط ربات، بلکه بدن انسان تا استخراج معیارهای حد عملا قابل استفاده که می‌توان هنگام طراحی ربات‌ها و برنامه‌ها از آن‌ها پیروی کرد، متغیر است؛ با این حال، داده‌های بیومکانیکی زیربنایی، هنوز بسیار اندک هستند.

هنوز کار منتشر نشده‌ای در دانشگاه ماینز و جاهای دیگر در حال انجام است تا آستانه‌هایی را که حس لمس را از درد در نواحی مختلف

[۳] CWS

بدن مشخص می‌کند، تعیین کند؛ آستانه صدمات را نمی‌توان مستقیماً بررسی کرد، اما باید [۱۲] از سایر مطالعات منتشر شده در ادبیات پزشکی استنباط شود؛ یک شماتیک ساده از سلسله‌مراتب این آستانه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است [۳۴].



شکل ۳- مروری بر آستانه‌های مختلف مربوط به توصیف رویدادهای تماس بین ربات‌ها و انسان‌ها [۳۴]

۳- نتیجه‌گیری و چشم‌انداز آینده

در حالی‌که انواع ساده‌تر عملیات مشترک انسان و ربات از طریق توقف نظارت‌شده با درجه ایمنی یا با هدایت دستی می‌تواند با فناوری امروزی محقق شود، اجرای کامل دو نوع دیگر هنوز در انتظار نتایج تحقیقاتی بیشتر و توسعه محصول است. حفظ فاصله جدایی مشخص بین هر قسمت از ربات متحرک و کارگر، به این معنی است که سیستم کنترل باید همیشه اطلاعاتی نه تنها در مورد وضعیت و وضع حرکت ربات، بلکه در مورد موقعیت و حرکت مورد انتظار کارگر نیز داشته باشد؛ تا زمانی‌که او در CWS باشد. تا به امروز، حسگرهای مناسب برای استفاده در سیستم‌های دارای رتبه ایمنی محدود به ارائه اطلاعات باینری در مورد حضور یک شی در یک یا چند منطقه استاتیکی در فضا (منطقه‌ها) هستند؛ با این حال، ممکن است پیش‌بینی شود که حسگرهای ایمنی با قابلیت ارائه اطلاعات موقعیت رتبه‌بندی ایمنی بر روی اشیاء شناسایی شده در میدان دید آن‌ها در دسترس خواهند بود. در نهایت، محدود کردن مناسب نیروهای استاتیک و دینامیکی که یک ربات همکار باید بتواند به قسمت‌های در معرض بدن کارگر وارد کند، مستلزم درک اساسی مکانیسم‌های بیومکانیکی درگیر و چگونگی ارتباط آن‌ها با خواص دینامیکی حرکت ربات و ویژگی‌های خاص مربوط به بدن انسان است.

۴ - مراجع

[1] X. Kun, Z. Wang, Z. Zhou, and W. Qi, “Design of industrial internet of things system based on machine learning and
artificial intelligence technology,” J. Intell. & Fuzzy Syst., vol. 40, no. 2, pp. 2601–2611, 2021 Jan 1.

[2] Y. Choi, S. Pak, and H. Chang, “A study on design of security management system based on the type of display industrial
technology leakage,” Korean J. Ind. Sec., vol. 10, no. 3, pp. 137–168, 2020. DOI: 10.33388/kais.2020.10.3.137.

[3] V. Wang, L. Liu, and J. Xu, “Study on the design of the railway vehicle running control system based on the virtual reality
technology,” Rev. de. la. Facultad de Ingenieria, vol. 32, pp. 799–808, 2017.

[4] S. Chakraborty and K. Prasad, “A QFD-based expert system for industrial truck selection in manufacturing organizations,”
J. Manuf. Technol. Manag., vol. 27, no. 6, pp. 800–817, 2016. DOI: 10.1108/jmtm-02-2016-0020.

[5] J. Psotka, “Immersive training systems: Virtual reality and education and training,” Instr. Sci., vol. 23, no. 5–6, pp. 405–431, 1995. DOI: 10.1007/bf00896880.

[6] Z. Merchant, E. T. Goetz, L. Cifuentes, W. Keeney-Kennicutt, and T. J. Davis, “Effectiveness of virtual reality-based instruction
on students’ learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis,” Comput. Educ., vol. 70, pp. 29–40, 2014. DOI: 10.1016/j.compedu.2013.07.033.

[7] A. Petrakou, “Interacting through avatars: Virtual worlds as a context for online education,” Comput. Educ., vol. 54, no. 4, pp. 1020–1027, 2010. DOI: 10.1016/j.compedu.2009.10.007.

[8] B. Dalgarno, M. J. W. Lee, L. Carlson, S. Gregory, and B. Tynan, “An Australian and new zealand scoping study on the use of
3D immersive virtual worlds in higher education,” Australas. J. Educ. Technol., vol. 1, p. 27, 2011, DOI: 10.14742/ajet.978

[9] J. T. Bell and H. S. Fogler. “The investigation and application of virtual reality as an educational tool.” In Proceedings of the
American society for engineering education annual conference, 1995, pp. 1718–1728.

[10] M. Hashemipour, H. F. Manesh, and M. Bal, “A modular virtual reality system for engineering laboratory education,” Computer

Annals Manufacturing Technology. 58 (2009), No. 2, p. 628-646.
[23] R. D. Schraft, M. Hägele, and A. Breckweg, “Man and robot without separating systems,” In: World of
Automation and Metalworking. Frankfurt/M.: VDMA Verlag, 2006, p. 4-5.
[24] ISO/TS 15066 “Robots and robotic devices – Industrial safety requirements – Collaborative industrial
robots”; ongoing standardization project in draft stage and not publicly available at this time.
[25] S. Haddadin, A. Albu-Schäffer, and G. Hirzinger, “Soft-Tissue Injury in Robotics,” IEEE / Robotics
and Automation Society, 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Anchorage, Alaska USA, 2010, on DOI - 10.1109/ROBOT.2010.5509854, p. 3426-3433.
[26] O. Ogorodnikova, “How Safe the Human-Robot Coexistence Is? Theoretical Presentation,” Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 6, No.4, p. 51-74 (2009).
[27] S. Oberer, R. D. Schraft, “Robot-dummy crash tests for robot safety assessment,” IEEE / Robotics and Automation Society: 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Rome, Italy, 2007, p. 2934-2939.
[28] BG/BGIA Risk Assessment Recommendations according to Machinery Directive – Design of Workplaces with Collaborative Robots, Ed. BGIA Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance, U 001/2009e October 2009 edition, revised February 2011.
[29] A. Z. Sampaio and O. Martins, “VR model of bridge construction: a didactic application,” In Proceedings Virtual Real. Int. Conference-Laval Virtual 2017, 2017 Mar 22, pp. 1–3.
[30] C. V. Hurtado, A. R. Valerio, and L. R. Sanchez, “Virtual reality robotics system for education and training,” In 2010 IEEE
Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, IEEE, 2010 Sep 28, pp. 162–167.
[31] V. Román-Ibáñez, F. A. Pujol-López, H. Mora-Mora, M. L. Pertegal-Felices, and A. Jimeno-Morenilla, “A low-cost immersive
virtual reality system for teaching robotic manipulators programming,” Sustainability, vol. 10, no. 4, p. 1102, 2018 Apr 7.
Appl. Eng. Educ., vol. 19, no. 2, pp. 305–314, 2011 Jun.
[11] J. Kirakowski. The use of questionnaire methods for usability assessment. Measures & Methods for Quality of Use, Ed T. Bösser, Springer Verlag, vol. 24, no. 3, pp. 210–231, 1995.
[12] A. Sutcliffe and B. Gault, “Heuristic evaluation of virtual reality applications,” Interact. Computers, vol. 16, no. 4, pp. 831–849, 2004 Aug 1.
[13] J. Saunier, M. Barange, B. Blandin, R. Querrec, and J. Taoum, “Designing adaptable virtual reality learning environments,”
In Proceedings 2016 Virtual Real. Int. Conf., 2016 Mar 23, pp. 1–4.
[14] P. Häfner, V. Häfner, and J. Ovtcharova, “Teaching methodology for virtual reality practical course in engineering education,” Proc. Computer Sci., vol. 25, pp. 251–260, 2013 Jan 1.
[15] A. Brown and T. Green, “Virtual reality: Low-cost tools and resources for the classroom,” TechTrends, vol. 60, no. 5, pp. 517–519, 2016 Sep.
[16] D. Vergara, M. P. Rubio, and M. Lorenzo, “On the design of virtual reality learning environments in engineering,” Multimodal Technol. Interact., vol. 1, no. 2, p. 11, 2017 Jun 1.
[17] World Robotics – Industrial Robots: Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies and Profitability
of Robot Investment, International Federation of Robotics, Frankfurt am Main, 2011.
[18] ISO/TC 184/SC 2 “Robots and robotic devices”; working group WG3 “Industrial safety” is one of five active working groups in this subcommittee.
[19] ISO 10218 “Robots and robotic devices – Safety requirements for industrial robots”, with parts 1 (“Robots”) and 2 (“Robot systems and integration”), ISO Copyright Office, Geneva, 2011.
[20] M. Hägele, W. Schaaf, and E. Helms, “Robot assistants at manual workplaces: Effective co-operation
and safety aspects,” In: International Symposium on Robotics ISR 2002 / CD-ROM: Proceedings. October 7-11, 2002, Stockholm, Sweden. Stockholm, 2002.
[21] A. De Santis, B. Siciliano, A. De Luca, and A. Bicchi, “Atlas of physical human-robot interaction,” Mechanism and Machine Theory, Vol. 43, No. 3, March 2008, p. 253-270.
[22] J. Krüger, T. K. Lien, and A. Verl, “Cooperation of human and machines in assembly lines,” in: CIRP

[32] M. C. Dos Santos, V. A. Sangalli, and M. S. Pinho, “Evaluating the use of virtual reality on professional robotics education,”
In 2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), Vol. 1, IEEE, 2017 Jul 4, pp. 448–455.
[33] J. Put, N. Michiels, F. D. Fiore, and F. V. Reeth, “Capturing industrial machinery into virtual reality,” In International
Conference on Articulated Motion and Deformable Objects, Cham, Springer, 2018 Jul 12, pp. 44–52.
[34] K. Żywicki, P. Zawadzki, and F. Górski, “Virtual reality production training system in the scope of intelligent factory,” In
International Conference on Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance, Cham, Springer, 2017 Sep 28, pp. 450–458.
[34] Jeff Fryman, Björn Matthias, (2012), ” Safety of Industrial Robots:
From Conventional to Collaborative Applications”, https://www.researchgate.net/publication/269411126.
[35] Ying Liu, Ashima Kukkar, and Mohd Asif Shah (2022), “Study of industrial interactive design system based on virtual reality teaching technology in industrial robot”, Paladyn, Journal of Behavioral Robotics 2022; 13: pp 45–55.