



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مکانیک و برق

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی مکاترونیک

انبارش و بازیابی اتوماتیک سطوح محتوی کالا در انبارهای نسل ۴.۰
به وسیله ی ربات های همکار تحویل دهنده و جمع کننده

نگارش

یاسین صالحی

استادان راهنما

پروفسور سید مهدی رضاعی

دکتر امیرابوالفضل صورتگر

۱۴۰۲-2023

این صفحه عمدتاً خالی گذاشته شده است به دلیل یک رو چاپ شدن فرم‌ها،
تعهد نامه و صفحات تقدیم و تشکر.

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
دانشکده مکانیک و برق
پایان نامه کارشناسی ارشد
مهندسی مکاترونیک



گواهی دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

هیأت داوران پایان نامه کارشناسی ارشد آقای یاسین صالحی به شماره دانشجویی ۴۰۰۱۲۶۱۲۶ در رشته مهندسی مکاترونیک را در تاریخ

با عنوان، نمره و درجه ی به شرح زیر ارزیابی نمود.

عنوان: انبارش و بازیابی اتوماتیک سطل های محتوی کالا در انبار های نسل ۴.۰ به وسیله ی ربات های همکار تحویل دهنده و جمع کننده

نمره:

به عدد

به حروف

| | |
|--|--|
| | |
|--|--|

نمره نهایی

درجه

| |
|--|
| |
|--|

| ردیف | مشخصات هیأت داوران | نام و نام خانوادگی | مرتبه دانشگاهی | دانشگاه یا مؤسسه | امضاء |
|------|--|-----------------------------|-------------------|---------------------|-------|
| ۱ | استاد راهنما اول: | دکتر سید مهدی رضاعی | استاد | صنعتی امیرکبیر | |
| ۲ | استاد راهنما دوم: | دکتر امیرابوالفضل صورتگر | دانشیار | صنعتی امیرکبیر | |
| ۳ | استاد مشاور: | | | | |
| ۴ | استاد مدعو: | | | | |
| ۵ | استاد مدعو: | | | | |
| ۶ | نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی گروه آموزشی: | | | | |

این صفحه عمدتاً خالی گذاشته شده است به دلیل یک رو چاپ شدن فرم‌ها،
تعهد نامه و صفحات تقدیم و تشکر.



به نام خدا

تاریخ:

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب یاسین صالحی متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب تحت نظارت و راهنمایی اساتید دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده و به دستاوردهای دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق مقررات و روال متعارف ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتر ارائه نگردیده است.

در صورت اثبات تخلف در هر زمان، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از درجه اعتبار ساقط بوده و دانشگاه حق پیگیری قانونی خواهد داشت.

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی امیرکبیر می‌باشد. هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی، واگذاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان نامه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مآخذ بلامانع است.

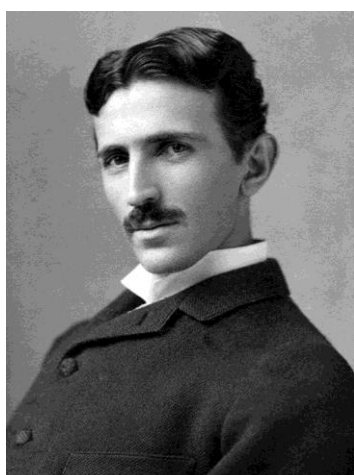
یاسین صالحی

امضا

این صفحه عمدتاً خالی گذاشته شده است. به دلیل یک رو چاپ شدن فرم‌ها،
تعهد نامه و صفحات تقدیم و تشکر.

این پایان نامه را تقدیم می‌کنم به روح بلند پرواز

نیکولا تسلا.



Nikola Tesla, 1856-1943
(Portrait by Napoleon Sarony, 1890s)

این صفحه عمدتاً خالی گذاشته شده است به دلیل یک رو چاپ شدن فرم ها،
تعهد نامه و صفحات تقدیم و تشکر.

تقدیر و تشکر

تشکر میکنم از:

مادرم که در تمامی این سال ها هیچ وقت اجازه نداد احساس کنم که مجبورم راهی را به تنهایی طی کنم.

پدرم که با وجود همه ی سختی هایی که زندگی برایمان به وجود آورد پناهمان بود و یک تنه سختی ها را به جان خرید.

برادرم آقای دکتر یوسف صالحی که همیشه به من و ایده هایم باور داشت و اجازه نداد که بذر امید در من بی جوانه بماند.

خواهرم خانم مریم صالحی که در طی این سال ها حامی من بود. و وجودش دلگرمی ای بود برای ادامه دادن در این راه.

خاله ی گرانقدرم خانم دکتر سودابه سلیمانی که در تمامی این سال ها هیچ وقت حمایت خود را از من دریغ نکرد و در راه تحصیل علم و دانش همیشه همراه من بود.

اساتید گرامی ام آقایان دکتر سیروان فرهادی و دکتر سیروان محمدی که بدون حمایت ها و تشویق های این عزیزان مسیر کسب علم و دانش من مدت ها قبل به انتها می رسید.

و در آخر تشکر ویژه ای دارم از استاد گرانقدرم **پروفسور سید مهدی رضاعی** که بدون حمایت ها و کمک های ایشان و دکتر امیرابوالفضل صورتگر نگارش این پایان نامه ممکن نبود.

این صفحه عمدتاً خالی گذاشته شده است به دلیل یک رو چاپ شدن فرم ها، تعهد نامه و صفحات تقدیم و تشکر.



اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی تهران

TEHRAN CHAMBER OF COMMERCE,
INDUSTRIES, MINES AND AGRICULTURE

این پایان نامه با حمایت مالی اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی
تهران به انجام رسیده است.

این صفحه عمدتاً خالی گذاشته شده است به دلیل یک رو چاپ شدن فرم‌ها،
تعهد نامه و صفحات تقدیم و تشکر.

چکیده

چکیده ی گزارش باید در انتهای پروژه نوشته شود تا در بر گیرنده ی چکیده ای از تمام گزارش باشد به این سبب اینجانب نوشتن این صفحه را در اتمام کار خواهم نوشت

واژه‌های کلیدی:

رباتیک، انبار، خرده فروشی آنلاین، ربات های همکار

این صفحه عمدتاً خالی گذاشته شده است به دلیل یک رو چاپ شدن فرم ها، تعهد نامه و صفحات تقدیم و تشکر.

| | |
|---|----|
| ۱ فصل اول مقدمه | ۱ |
| ۱-۱ تاثیر صنعت تجارت الکترونیک در پیدایش اتوماسیون در انبار ها..... | ۲ |
| ۱-۲ انواع انبار های با سیستم انبارش و بازیابی خودکار..... | ۵ |
| ۱-۲-۱ انبارهای خودکار با جرثقیل های محصور در راهرو..... | ۵ |
| ۲-۲-۱ سیستم انبارش و بازیابی خودکار مبتنی بر ربات های خودران (AVS/R systems)..... | ۵ |
| ۳-۲-۱ سیستم قفسه متحرک رباتیک (RMR)..... | ۶ |
| ۴-۲-۱ سیستم های ذخیره سازی و بازیابی فشرده مبتنی بر ربات (اتو استور)..... | ۸ |
| ۱-۳ مطالعه موردی..... | ۹ |
| ۲ فصل دوم مروری بر ادبیات موضوع و سوابق اجرا | ۱۲ |
| ۲-۱ مروری بر سوابق اجرا..... | ۱۳ |
| ۲-۱-۱ معرفی سوابق اجرا..... | ۱۳ |
| ۱-۱-۲ انبار شرکت الکتک در اوپدال، نروژ..... | ۱۳ |
| ۲-۱-۲ انبار شرکت جولی روم در گوتنبرگ، آلمان..... | ۱۴ |
| ۳-۱-۲ انبار شرکت پوما در ایندیاناپولیس، ایالات متحده ی آمریکا..... | ۱۴ |
| ۴-۱-۲ انبار شرکت وارنر در وانرزبورگ، سوئد..... | ۱۵ |
| ۲-۱-۲ مقایسه ی سوابق اجرا..... | ۱۵ |
| ۲-۲ مروری بر ادبیات موضوع..... | ۱۷ |
| ۳ فصل سوم مطالعات انجام شده | ۲۱ |
| ۳-۱ سیستم های RCS/R موجود و مقایسه ی آن ها..... | ۲۲ |
| 3-2 توصیف سیستم و فرآیند ها..... | ۲۶ |
| 3-3 تعاریف سیستم..... | ۲۸ |
| ۴ فصل چهارم: مدل فیزیکی و اعتبار سنجی | ۳۲ |
| ۴-۱ ارایه ی ملزومات مدل فیزیکی..... | ۳۳ |
| ۱-۱-۴ شناسایی نیاز..... | ۳۳ |
| 2-1-4 امکان سنجی..... | ۳۵ |
| 3-1-4 مدیریت الزامات (خواسته ها)..... | ۳۷ |
| 4-1-4 معیارهای سنجش فنی و عملکردی (TPM)..... | ۴۰ |
| 5-1-4 تحلیل و تخصیص عملکردها..... | ۴۰ |
| ۵ فصل پنجم: جمع بندی و نتیجه گیری | ۴۴ |
| ۶ منابع و مراجع | ۴۵ |

| | |
|---------|------------|
| ۴۶..... | ۷ پیوست‌ها |
| ۴۷..... | Abstract 8 |

| | |
|---|----|
| شکل ۱-۱: فروش خرده فروشی تجارت الکترونیک در سراسر جهان از ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۵..... | ۳ |
| شکل ۲-۱: انباری خودکار برای پالت ها با جرثقیل های محصور در راهرو. منبع: دایفوکو آمریکا..... | ۵ |
| شکل ۳-۱: یک سیستم AVS/R با ربات های خودران در هر سطح و بالابرها در جلو..... | ۶ |
| شکل ۴-۱: سیستم اتو استور..... | ۸ |
| شکل ۱-۳: سیستم اتواستور..... | ۲۳ |
| شکل ۲-۳: سیستم اوکادو..... | ۲۳ |
| شکل ۳-۳: سیستم یونگهاینریش..... | ۲۴ |
| شکل ۴-۳: سیستم والیوم درایو..... | ۲۵ |
| شکل ۵-۳: تعاریف سیستم..... | ۲۸ |

صفحه

فهرست جداول

جدول ۱-۲: مقایسه سوابق اجرا..... ۱۵

فهرست علائم

علائم لاتین

کیلومتر مربع

Km^2

فصل اول

مقدمه

مقدمه

۱-۱ تاثیر صنعت تجارت الکترونیک در تسریع اتوماسیون در انبار ها

از آغاز تمدن، انسان‌ها سعی کرده‌اند تولید کالاها را از نظر کیفیت، کمیت، و کارایی بهبود بخشند. این اشتیاق در انقلاب صنعتی اول در انتهای قرن هجدهم به اوج خود رسید و منجر به دگرگونی کامل صنعت شد، که عمدتاً با استفاده از ابزارهای جدید در دسترس و پیشرفت‌هایی در مکانیزاسیون، که توسط تولید قدرت حرارتی/مکانیکی متمرکز هدایت می‌شد رخ داد. یک قرن بعد در ابتدای قرن بیستم با اختراع ماشین‌های الکتریکی، قدرت به شکلی غیرمتمرکز شده و با بهره‌گیری از انرژی الکتریکی در انقلاب صنعتی دوم جایگزین شد. اما انقلاب سوم که سریع‌تر از گذشت یک قرن یعنی تنها با گذشت حدود ۷۰ سال (در اوایل دهه ۱۹۷۰) رخ داد، به دیجیتالی‌سازی و خودکارسازی گسترده مربوط می‌شد. امروزه دگرگونی بعدی صنعت یعنی انقلاب صنعتی چهارم از شکل گرفته است، که روند شکل‌گیری آن بسیار سریع‌تر از سایر انقلاب‌های دیگر بوده است. این انقلاب، در ادامه انقلاب سوم، به خودکارسازی نرم‌افزار و استفاده از توسعه‌های تکنولوژیکی جدید و به سرعت در حال پیشرفت، که به عنوان صنعت نسل ۴.۰ شناخته می‌شود، مربوط می‌گردد [۱].

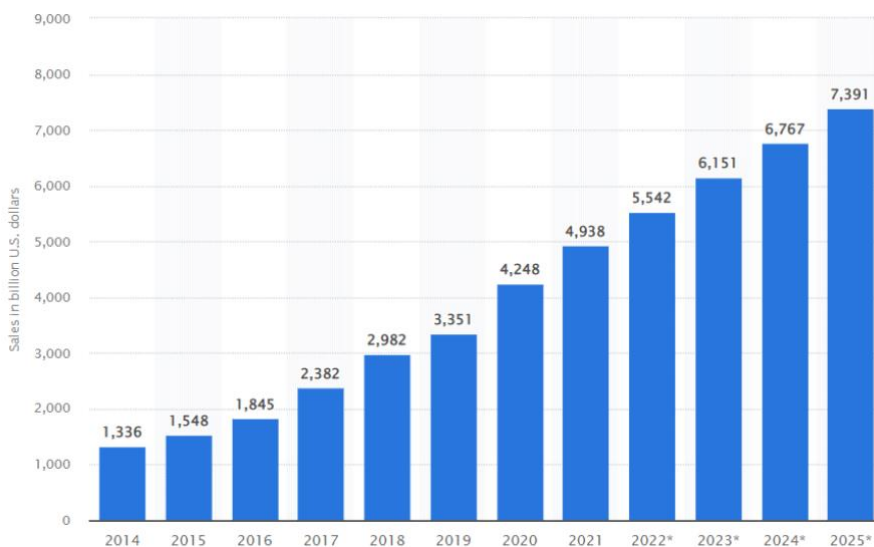
رشد صنعت انبارداری نیز در طول سالیان وابستگی خود را به انقلاب‌های صنعتی و ابزارهای موجود برای بهبود عملکرد این صنعت را به ابات رسانیده است. اما در طول سالیان زیادی در طول انقلاب‌های صنعتی اول، دوم و سوم صنعت انبارداری با حاشیه سود ناچیز و رقابت با حساسیت بالا به هزینه انجام گرفته، که منجر به رویکرد بسیار محتاطانه برای پذیرش فناوری جدید در این واحدهای اقتصادی توسط شرکت‌های مادر شده است. انبارداری که عمدتاً به عنوان یک مرکز هزینه در شرکت‌های مادر در نظر گرفته می‌شود، با رقابت بالا در این صنعت همراه است که مبتنی بر هزینه و ریسک‌گریزی است، که از لحاظ اقتصادی انبارها را به سمت کاهش هزینه در هر قسمت ممکن از این واحدهای اقتصادی سوق می‌دهد. با توجه به این شرایط این مراکز صنعتی در پذیرش فناوری‌های جدید کند عمل کرده و در طول

سالیان شاهد عدم توجیه های اقتصادی برای سرمایه گذاری های لازم برای رشد این واحد های صنعتی هستیم [۲].

اما حال در بحبوحه ی انقلاب صنعتی چهارم، صنعت خرده فروشی تجارت الکترونیکی نسل چهارم پیشرفت چشمگیری را تجربه کرده است و تنها در طی سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱، بازار تجارت الکترونیکی شاهد افزایش ۴۵.۸ درصدی فروش آنلاین در سراسر جهان بوده است. در مقایسه با تنها ۱۳.۶ درصد از فروش ها که در سال ۲۰۱۹ به صورت آنلاین انجام شده است. فروش تجارت الکترونیکی موبایل به عنوان درصدی از کل فروش تجارت الکترونیکی از ۵۲.۴ درصد در سال ۲۰۱۶ به ۷۲.۹ درصد در سال ۲۰۲۱ افزایش یافته است. بر اساس آمار جدید از شاخص خرده فروشی ایالات متحده IBM، همه گیری کوید-۱۹ تغییر از کسب و کارهای فیزیکی به خرید آنلاین را تقریباً پنج سال تسریع بخشیده است.

Revolution of Retail Industry: From :Commented [YS1]
Perspective of Retail 1.0 to 4.0

:Commented [YS2R1]



شکل ۱-۱: فروش خرده فروشی تجارت الکترونیک در سراسر جهان از ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۵

با رشد چشم گیر در فروش سالانه ی صنعت خرده فروشی های آنلاین و تغییرات اندک در الگوهای مصرف این صنعت، این بنگاه های اقتصادی به طور گسترده ای منجر به دگرگونی صنعت انبارداری شده

است و همچنان نیز تأثیر خود بر مشاغل وابسته و اتوماسیون انبار های وابسته به این صنعت ادامه خواهد داد. با افزایش تعداد سفارشات در صنعت خرده فروشی های آنلاین و همچنین انتظارات تحویل سریع مصرف کنندگان، موفقیت کسب و کار های تجارت الکترونیکی به سرعت و دقتی بستگی خواهد داشت که با آن اقلام انتخاب و پردازش می شوند، زیرا نهایتاً این فرآیند ها بر زمان بر زمان تکمیل سفارش، زمانی که سفارش اولین بار ثبت می شود تا زمانی که مورد به دست مشتری تحویل داده می شود، تأثیر می گذارد و زمان کمتر تکمیل سفارش برابر با قابلیت رقابت بالا در این حوزه می باشد. برای پاسخ گویی به این نیاز خودکارسازی و یا اتوماسیون فرآیند های پردازش کالا در انبار های این صنعت راهکاری عملی، سریع و با دقت بالا ارایه می کند که همگی ویژگی هایی به شدت مطلوب در این حوزه میباشند. .

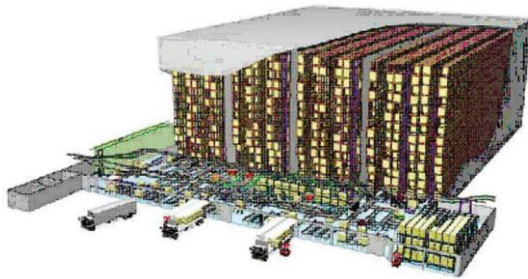
به منظور خودکارسازی و افزایش بهره‌وری فرآیند های پردازش کالا در این انبار ها تلاش هایی کاملاً متفاوت از هم در انبار های این صنعت شکل گرفته است. می توان گفت که تقریباً در تمامی این پروژه ها افزایش بهره‌وری با استفاده از اتوماسیون قسمت انبارش و بازیابی کالا، و جلوگیری حداکثری از رفت و آمد پرسنل صورت گرفته است.

در این انبار ها برای کاهش رفت و آمد پرسنل و افزایش سرعت جریان کالا، بر خلاف مدل های قدیمی بازیابی کالا، پرسنل در ایستگاه هایی ثابت به تفکیک کالا ها میپردازند در حالی که جریان کالا به سمت آن ها جریان میابد. با این وجود روش ها و تلاش های متفاوتی از هم در این انبار ها برای به جریان انداختن کالا ها صورت گرفته که به بعضی از آن ها پرداخته خواهد شد

۱-۲ انواع انبار های با سیستم انبارش و بازیابی خودکار

۱-۲-۱ انبارهای خودکار با جرثقیل های محصور در راهرو^۱

این انبارها در ابتدا در دهه شصت وجود معرفی شده اند. از آن زمان تا کنون انواع زیادی از آن ها توسعه یافته است. شکل ۲-۱ نمونه ای از چنین انباری را نشان می دهد. در چنین انباری



شکل ۲-۱: انباری خودکار برای پالت ها با جرثقیل های محصور در راهرو. منبع:

یک جرثقیل محصور در راهرو، بار را معمولاً از یک نوار نقاله بازیابی می کند و به طور خودکار آن را در قفسه ها در ارتفاع تا ۳۰ متر ذخیره می کند. حرکت افقی و بلند کردن به طور همزمان انجام می شود. و در این انبار ها فرآیند بازیابی دقیقاً برعکس است .

۲-۲-۱ سیستم انبارش و بازیابی خودکار مبتنی بر ربات های خودران (AVS/R systems)^۲

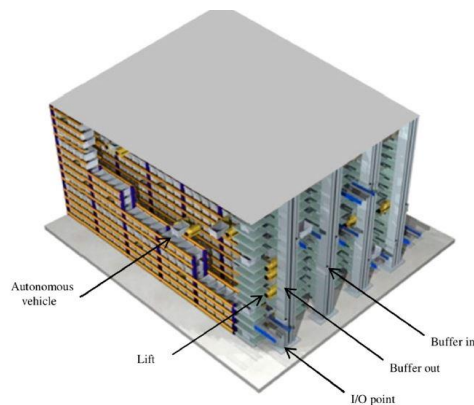
سیستم های ذخیره سازی و بازیابی مبتنی بر ربات های خودران سیستم های مبتنی بر راهرو هستند که از جرثقیل استفاده نمی کنند، بلکه از شاتل^۳ ها استفاده می کنند که می توانند در

¹ Automated unit load warehouses with aisle-captive cranes

² Autonomous vehicle-based storage and retrieval systems

³ Shuttles

جهت X و (گاهی اوقات نیز در) در جهت Y در هر سطحی حرکت کنند. در راهرو، و بالابرهایی که می توانند شاتل ها (ی حامل های بار واحد) را بین سطوح و به انبار منتقل کنند. چنین سیستم هایی به طور فزاینده ای محبوب هستند زیرا امروزه سرمایه گذاری مشابه سیستم های خودکار با جرثقیل های محصور در راهرو است، در حالی که ظرفیت بازیابی بسیار بالاتری را ارائه می دهند و به طور قابل توجهی در ظرفیت توان عملیاتی انعطاف پذیرتر هستند. با استفاده از شاتل های اضافی می توان به راحتی ظرفیت توان عملیاتی انعطاف را افزایش داد و با حذف شاتل ها ظرفیت



شکل ۱-۳: یک سیستم AVS/R با ربات های خودران در هر سطح و بالابرها در جلو. را کاهش داد. شکل ۱-۳ نمونه ای از چنین سیستمی را نشان می دهد.

۳-۲-۱ سیستم قفسه متحرک رباتیک (RMR)^۱

نوع دیگری از سیستم بار واحد رباتیک مستقل، سیستم قفسه متحرک رباتیک است. این سیستم توسط جونمان^۲ (۱۹۸۷) مفهوم سازی شد و برای اولین بار توسط کیوا سیستمز^۳ به بازار

^۱ Robotic moveable rack system

^۲ Jünemann

^۳ Kiva systems (Amazon Robotic)

عرضه شد. در حال حاضر حدود ۳۰ تامین کننده برای این نوع سیستم ها در بازار اروپا و هند وجود دارند، در حالی که بیشتر آنها در چین قرار دارند. در این سیستم ها، قفسه های کامل ("غلاف") که چندین محصول را حمل می کنند توسط ربات ها جابه جا می شوند.

اگر محصولی توسط مشتری درخواست شود، یک ربات به سمت قفسه ای که محصول در آن قرار دارد حرکت می کند، آن را برمی دارد و به ایستگاه می برد. در آنجا، ربات با قفسه منتظر نوبت خود خواهد ماند. اوپراتور محصولات درخواستی مشتری را از قفسه ی مورد نظر جدا می کند و آنها را به سطل سفارش می گذارد، زمانی که تمامی اقلام مورد سفارش توسط اوپراتور برداشته شد، ربات قفسه را به محل ذخیره سازی برمی گرداند، در این سیستم مکان ذخیره سازی کاملاً پویا است. و با توجه به نرخ بازخوانی قفسه محل ذخیره سازی قفسه ها تغییر می کند.

در اصل، طرح را می توان به طور کامل هم به صورت پویا و هم به صورت خودکار با ویژگی های محصول و سفارش تطبیق داد. این سیستم ها برای خرده فروشی های اینترنتی که نیاز به انتخاب سفارش های نسبتاً کوچک (یعنی نه تعداد زیادی از اقلامی که باید در هر سفارش ادغام شوند) از طیف وسیعی از محصولات، بسیار مناسب هستند.

عملکرد سیستم های قفسه متحرک رباتیک اخیراً مورد توجه تحقیقات دانشگاهی نسبتاً زیادی قرار گرفته است. به عنوان مثال می توان به لامبالایس^۱ و همکاران (۲۰۱۷a)، اشاره کرد که به مطالعه شکل بهینه منطقه ذخیره سازی، و تاثیر استراتژی های ادغام ربات پرداختند، یا به مطالعات زو^۲ و همکاران (۲۰۱۸ a)، که به مطالعه تاثیر استراتژی های شارژ باتری پرداختند، همچنین می توان به مطالعه ی بویسان^۳ و همکاران (۲۰۱۷) و لامبالایس و همکاران. (۲۰۱۷ b)، که هر دو به مطالعه تاثیر استراتژی های ذخیره سازی بر عملکرد پرداختند.

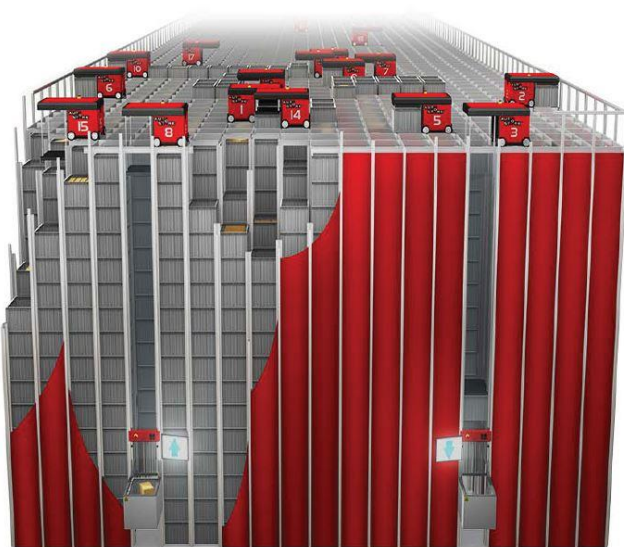
¹ Lamballais

² Zou

³ Boysen

۴-۲-۱ سیستم های ذخیره سازی و بازیابی فشرده مبتنی بر ربات^۱ (اتو استور)^۲

سیستم های ذخیره سازی و بازیابی فشرده مبتنی بر ربات در چند سال گذشته شاهد



شکل ۴-۱: سیستم اتو استور .

پیاده سازی های زیادی بوده اند. در چنین سیستمی، اقلام موجودی در سطلهایی ذخیره می شوند که در یک شبکه سازماندهی شده اند. در هر سلول شبکه (ستون ها)، تعداد معینی سطل روی هم ذخیره می شود. ربات هایی با قابلیت حمل و نقل و بالابر روی سقف شبکه حرکت می کنند، تا سطل ها را بین ایستگاه های کاری دستی و سلول های ذخیره سازی حمل کنند. شکل نمونه ای از چنین سیستمی را نشان می دهد.

^۱ RCSRS(Robot-based compact storage and retrieval systems)

^۲ AutoStore

۳-۱ مطالعه موردی^۱

در این مقاله یکی از انواع افزایش بهره‌وری و ورود تکنولوژی به انبار های صنعت تجارت الکترونیک مورد بررسی قرار گرفته است. که این افزایش بهره‌وری به وسیله ی اتوماسیون قسمت انبارش و بازیابی کالا در انبار های صنعت خرده فروشی های آنلاین صورت گرفته است.

در انبار های مورد مطالعه ی این مقاله (اتواستور) جا به جایی قفسه های محتوی کالا صورت نمی‌گیرد، و در ازای آن کالا ها را در سطل هایی به صورت جزیی تر تقسیم بندی می‌شوند و در این سیستم سطل ها در بازیابی کالا به حرکت در می‌آیند. در روش مذکور به دلیل تقسیم بندی جزیی تر کالا ها نسبت به روش های دیگر معرفی شده در قسمت قبل، تعداد کالای های ناخواسته ای که همراه با کالای هدف بازیابی می‌شوند بسیار کاهش می‌یابد. این روش در کاهش جا به جایی کالای غیر هدف برتری بالایی نسبت به روش های دیگر و رقبای خود دارد.

از دیگر مزایای این روش می‌توان به تراکم بسیار بالای انبار اشاره کرد که بهره وری از فضا را به شدت افزایش می‌دهد. در این انبار ها می‌توان تراکم انبار را تا ۴ برابر انبار های عادی افزایش داد. افزایش خیره کننده ی تراکم انبار در این نوع از انبار های اتوماتیک، برتری بسیار بالایی برای این روش به ارمغان می‌آورد. دلیل اصلی افزایش خیره کننده تراکم کالا در این انبار ها حذف کامل راه رو ها، در بین قفسه ها و دسترسی به سطل ها به صورت توالی و از بالا می‌باشد.

در روش مذکور از افزایش تراکم انبار به عنوان یکی از مزایای این انبار ها نام بردیم. اما این روش انبارش و افزایش تراکم کالا در انبار، باعث افزایش زمان دسترسی به هر یک از سطل ها شده است. به این ترتیب که برای دسترسی به هر سطل باید سطل های بالایی آن ابتدا برداشته شده و روی ستون های دیگر قرار بگیرد و در آخر سطل هدف توسط ربات به سطح انتقال پیدا می‌کند و در محل مورد نظر تحویل داده

¹ Case Study

می‌شود و ربات دیگری سطل‌ها را به ترتیب قبلی بر روی هم در جای خود قرار می‌دهد. این روش بازیابی یکی از مشکلات اساسی انبار داری به این روش و همچنین یکی از دلایل اصلی کاهش نرخ رشد این انبار ها در اروپا و امریکای شمالی است. در این مقاله سعی بر آن شده با معرفی روشی جدید مبتنی بر ربات های همکار در این نوع انبار های اتوماتیک مشکل کاهش توان عملیاتی را برطرف کنیم و تا حد قابل قبولی توان عملیاتی را افزایش دهیم. اگر این مشکل تا حد قابل قبولی در این انبار ها مرتفع شود این انبار ها علاوه بر تراکم بالای کالا توان عملیاتی قابل قبولی نیز ارائه می‌دهند. این دو در کنار هم ای نوع انبار ها را در رقابتی بسیار تنگاتنگ با رقبای خود برتری عمده ای خواهد بخشید. و می‌تواند به بهترین انتخاب موجود در بازار در صنعت خرده فروشی های آنلاین تبدیل شود.

این صفحه عمدتاً خالی گذاشته شده است به دلیل شروع فصل جدید با صفحات فرد.

فصل دوم

مروری بر ادبیات موضوع و سوابق اجرا

مروری بر سوابق اجرا و ادبیات موضوع

در این نوشتار نوع چهارم از انبار های معرفی شده در قسمت قبل (اتو استور)، مورد بررسی قرار گرفته است که اولین بار توسط هاتلند تکنولوژی^۱ در سال ۲۰۰۳ معرفی شدند و اتو استور (AutoStore) نام گرفتند. این انبار ها تا سال ۲۰۱۵ گسترش بسیار کمی داشتند به گونه ای که نتوانستند از زادگاه خود، کشور نروژ^۲ خارج شوند. اما در سال ۲۰۱۵ اولین قرار داد شرکت هاتلند تکنولوژی برای یک مشتری در خارج از اسکاندیناوی بسته شد. و از آن موقع به بعد این تکنولوژی گسترش بسیار زیادی در تمامی نقاط جهان داشته است به گونه ای که در حال حاضر بیش از ۹۵۰ سیستم اتواستور در ۴۵ کشور مختلف با بیش از ۴۵ هزار ربات در حال فعالیت هستند. در ادامه با چندین پیاده سازی در این سیستم را خواهیم دید.

۱-۲ مروری بر سوابق اجرا

۱-۱-۲ معرفی سوابق اجرا

در این قسمت تعدادی از انبار های استفاده کننده از این نوع انبار ها و بازار هدف آن ها را معرفی می کنیم.

۱-۱-۱-۲ انبار شرکت الوتک در اوپدال^۳، نروژ

یکی از ابتدایی ترین انبار هایی که توسط این ربات ها در سال ۲۰۰۵ در شهر اوپدال در کشور نروژ توسط یکی از شرکت های همکار هاتلند تکنولوژی پیاده سازی شد و این یکی از ابتدایی ترین انبار هایی بود که سیستم اتواستور به آن ورود پیدا کرد این انبار به سفارش شرکت

^۱ Hatteland Technology

^۲ Norway

^۳ Oppdal

الوتک^۱ ساخته شد و همچنان نیز در حال کار است. ابعاد این انبار ۱۶۴ متر مربع می باشد و توسط ۵ ربات حدود ۶۰۰۰ هزار سطل محتوی کالا را در این انبار توسط ۳ بندرگاه کنترل می شد .

۲-۱-۱-۲ انبار شرکت جولی روم^۲ در گوتنبرگ، آلمان^۳

جولی روم، یک خرده فروشی آنلاین است که طیف وسیعی از محصولات را برای نوزادان و کودکان به فروش می رساند، جولی روم اسباب بازی، کالسکه، صندلی های ماشین، لباس های کودکان، کفش ها، محصولات کودک و لباس بارداری را به فروش می رساند (به طور خلاصه، همه چیزهایی که والدین احتمالاً برای فرزندانشان نیاز دارند). این شرکت طیف گسترده ای از کالاهای خود را در سراسر منطقه اسکاندیناوی توزیع می کند و همچنین به مشتریان در آلمان و اتریش خدمات ارائه می دهد. انبار اصلی این شرکت مستقر در گوتنبرگ، حاوی ۸۰ کیلومتر مربع انبار است که در ۱۵۰ هزار سطل تقسیم بندی شده اند. این انبار توسط ۱۴۷ ربات و ۲۶ بندرگاه توان عملیاتی بازیابی ۲۴۰۰ سطل بر ساعت را برای این مجموعه به ارمغان آورده است .

۳-۱-۱-۲ انبار شرکت پوما در ایندیاناپولیس، ایالات متحده ی آمریکا^۴

پوما که در سال ۱۹۴۸ در هرتزوغناوراک^۵ آلمان تأسیس شد، سابقه طولانی در ورزش دارد. به عنوان یکی از برترین برندهای ورزشی جهان، مترادف با سرعت است. در انبار ایندیاناپولیس شرکت پوما در حدود ۱ میلیون بسته در ماه پردازش می شود. این بسته ها در این انبار توسط ۱۷۵ از ۱۵۰ هزار سطل در ۳۷ بندرگاه بازیابی می شوند .

¹ Elotec

² Jollyroom

³ Gothenburg, Germany

⁴ Indianapolis, USA

⁵ Herzogenaurach

۴-۱-۱-۲ انبار شرکت وارنر^۱ در وانرزبورگ^۲، سوئد

وارنر، که در حال حاضر یکی از بزرگترین گروه های مد اروپا است، در سال ۱۹۶۲ در اسلو^۳، نروژ تأسیس شد. این شرکت کوچک شروع به کار کرد، اما امروزه، این زنجیره شبکه ای از ۱۵۰۰ فروشگاه در سراسر اروپا دارد و همچنین از طریق فروشگاه های آنلاین خود به مشتریان خدمات ارائه می دهد. در انبار این شرکت در وانرزبورگ دارای ۴۶ کیلومتر مربع فضای ذخیره سازی در قالب ۱۱۶ هزار سطل فراهم آورده شده است که توسط ۲۲۴ ربات و ۲۲ بندرگاه اداره می شود. که توان عملیات ۶ هزار سطل در ساعت را برای این انبار فراهم می آورد.

۲-۱-۲ مقایسه ی سوابق اجرا

جدول ۱-۲: مقایسه سوابق اجرا

| شرکت | مکان | سال اجرا | فضای انبار (Km^2) | تعداد ربات | توان عملیاتی (هزار سطل / ساعت) | تعداد بندرگاه | تعداد سطل (هزار) |
|----------|------------------------------------|----------|-----------------------|------------|--------------------------------|---------------|------------------|
| الوتک | اوپدال، نروژ | ۲۰۰۵ | ۰.۱۶۴ | ۵ | - | ۳ | ۶ |
| جولی روم | گوتنبرگ، آلمان | - | ۸۰ | ۱۴۷ | ۳.۷ | ۴۶ | ۱۵۰ |
| پوما | ایندیاناپولیس، ایالات متحده آمریکا | ۲۰۱۹ | ۶۰ | ۱۷۵ | - | ۳۷ | ۳۰۵ |

¹ Varner

² Vänersborg

³ Oslo

| | | | | | | | |
|-----|----|----|-----|----------|------|------------------------------|-----------------------|
| ۱۱۶ | ۲۲ | ۶ | ۲۲۴ | ۴۶ | ۲۰۱۶ | وانرزبورگ، سوئد | وارنر |
| ۲۷۵ | ۵۲ | - | ۴۰۰ | ۵۵ | ۲۰۱۲ | لارنس، سوئیس ^۲ | براک ^۱ |
| ۷۰ | | - | ۱۶۴ | - | ۲۰۱۲ | بریتانیا | اسدا ^۳ |
| ۱۵۸ | ۲۳ | - | ۸۶ | ۸ (کف) | ۲۰۱۰ | نروژ | ایکس ال ^۴ |
| ۲۳ | ۱۱ | - | ۷۶ | ۱۸ (کف) | ۲۰۱۸ | ژاپن ^۶ | هایابوسا ^۵ |
| ۱۵۰ | ۱۱ | ۱۸ | ۵۱ | ۲۰۱ (کف) | ۲۰۱۵ | روتلینگن، آلمان ^۸ | ارمیا ^۷ |

لیست بالا منتخب تعدادی از انبار هایی است که این نوع انبار داری در آن ها اجرا شده است.

¹BRACK.CH

² Lucerne, Switzerland

³ ASDA

⁴ XXL

⁵ Hayabusa

⁶ Japan

⁷ Ermia

⁸ Reutlingen, Germany

۲-۲ مروری بر ادبیات موضوع

در رابطه با سوابق اکادمیک موضوع باید اذعان داشت که تعداد مقالات کمی در رابطه با این نوع انبار ها و این روش انبار داری وجود دارند. از میان این مقالات می توان به [اشاره کرد. در اکثر این مقالات که از دیدگاه مهندسی صنایع و مدیریت نوشته شده اند. تنها به معرفی این نوع انبار ها پرداخته پرداخته شده است. از آن جا که این انبار ها، انبار های جوانی هستند و تنها در ابتدای قرن جاری معرفی شدند، هنوز توجه دنیای اکادمیک را به خوبی به خود جلب نکرده اند. به طور خاص، تحقیقات در مورد توان عملیاتی و محاسبات تحلیلی یا شبیه سازی های این گونه سیستم های انبار داری مورد تحقیق این نوشتار علمی هستند. تحقیقات علمی در مورد سیستم های ذخیره سازی و بازیابی اتوماتیک (AS/RS) به طور کلی دارای تاریخچه ای طولانی است. این تحقیقات از دهه ۷۰ میلادی با تحقیق یک سیستم ذخیره سازی و بازیابی اتوماتیک با یک ماشین دو منظوره که هم توان ذخیره سازی و هم بازیابی را داشت آغاز شد. در حالی که سیستم های ذخیره سازی مبتنی بر شاتل (SBS/RS) برای اولین بار در این زمان نصب شدند، سیستم های ذخیره سازی و بازیابی رباتیک در انبار های تراکم بالا (RCS/R) مانند سیستم اتواستور (Autostore) کاملاً ناشناخته بودند. کارتنیگ و همکاران [یک مرور تاریخی انجام داده و مگاترندها و تأثیر آن ها بر آینده سیستم های ذخیره سازی را بررسی کردند. عملکرد بالا، قابلیت تعمیم پذیری خوب، قابلیت ریداندنسی بالا، ذخیره سازی و بازیابی اتوماتیک و استفاده بهینه از فضا تنها چند ویژگی توصیف کننده یک سیستم ذخیره سازی و بازیابی مدرن بودند. با این حال، سیستم های RCS/R تمامی مزایای ذکر شده بالا را یکجا همه را دارا می باشد.

تن هومپل و همکاران [در کنار وهکینگ [اولین کسانی بودند که سیستم های RCS/R را در یک ادبیات لجستیکی ذکر کردند و یک مرور کلی بر فناوری مورد استفاده و مزایای مانند کارایی بالا، انعطاف پذیری و مدولاریتی ارائه دادند. زو و همکاران [بکشفر و همکاران [و همچنین گالکا [همگی یک شبیه سازی رویداد گسسته (DES) توسعه (DES) دادند تا اطلاعاتی در مورد سیستم به دست آورند. با این حال، هیچ اطلاعات کلی منتشر شده ای در مورد سیستم های RCS/R، مانند حداکثر توان عملیاتی وجود ندارد به جز تنها تحقیقات تراست و همکاران [

زو و همکاران [استراتژی های انبارداری با چینش کالا های آشفته و مرتب را برای به دست آوردن بهترین نسبت طول به وزن و ارتفاع قفسه ها را بررسی کردند. آن ها همچنین یک محاسبه تحلیلی با

Commented [YS3] Trost, Philipp, Georg Karting, and Michael Eder. "Simulation study of RCS/R-systems with several robots serving one picking station." FME Transactions 51.2 (2023): 201-210.

Commented [YS4] G. Kartnig, B. Grösel, N. Zmic, Past, State-of-the-Art, and Future of Intralogistics in Relation to Megatrends FME Transactions (2012) 40, 193-200, 2012

Commented [YS5] M. ten Hompel, T. Schmidt, J. Dregger, –Material flusssysteme, Förder- und Lagertechnik, 4. Auflage Springer Verlag, Berlin, 2018

M. ten Hompel, T. Bauernhansl, B. Vogel-Heuser. Handbuch Industrie 4.0, Band 3: Logistik, 3 Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2020

Commented [YS6] K.-H. Wehking, Technisches Handbuch Logistik 1 Fördertechnik, Materialfluss, Intralogistik, Springer Verlag, Berlin, 2020

Commented [YS7] B. Zou, R. De Koster, X. Xu, Evaluating dedicated and shared storage policies in robot-based compact storage and retrieval systems, Rotterdam School of Management, Erasmus University, 2016

Commented [YS8] M. Beckschäfer, S. Malberg, K. Tierney, C. –Weskamp, Simulating storage policies for an automated grid-based warehouse system, University of Paderborn, Decision Support & Operations Research Lab, 2017

Commented [YS9] S. Galka, C. Scherbarth, L. Troesch, – Autostore Was Nutzer über das System berichten können –Ergebnisse einer Online-Umfrage, OTH Regensburg, doi: 10.35096/othr/pub646, 2020 S. Galka, C. Scherbarth, "Simulationsbasierte Untersuchung der Grenzproduktivität von Robotern in einem AutoStore-Lagersystem", Simulation in Produktion und Logistik 2021, Cuvillier Verlag Göttingen, 2021

Commented [YS10] Trost, Philipp, Georg Karting, and Michael Eder. "Simulation study of RCS/R-systems with several robots serving one picking station." FME Transactions 51.2 (2023): 201-210

Commented [YS11] B. Zou, R. De Koster, X. Xu, Evaluating dedicated and shared storage policies in robot-based compact storage and retrieval systems, Rotterdam School of Management, Erasmus University, 2016

استفاده از یک شبکه صف نیمه‌باز (SOQN) انجام دادند. این کار با فرض تسهیلات فراوان و معرفی یک "پارامتر دیوار" انجام شد. موانع متقابل ربات‌ها بیشتر مورد بررسی قرار نگرفت زیرا تعداد ربات‌ها در مقایسه با اندازه شبکه کم بود. بیانیه مرکزی تحقیق این بود که هزینه‌ها برای انبارداری مرتب - که برای RCS/RS غیرمعمول است - می‌تواند دو برابر بالاتر از استراتژی آشفته باشد، به ویژه از آنجا که مرتب‌سازی مزیت بزرگ استفاده بهینه از فضا را کاهش می‌دهد. سیستم مرتب ظرفیت بالایی برای دست‌کاری دارد زیرا جابه‌جایی‌ها به حداقل رسیده یا حذف می‌شوند.

در تحقیقات خود، بکشر و همکاران روی استراتژی‌های انبارداری و اینکه آیا یک محصول جدید باید در یک ظرف خالی ذخیره شود یا یک ظرف که قبلاً با همان محصول به طور جزئی پر شده است برای ذخیره‌سازی محصول جدید از انبار خارج شود، تمرکز کردند. به جز تعداد ثابتی از ایستگاه‌های برداشت، فقط سطوح پرشدگی انبار حدود ۵۰٪ و ارتفاع انباشت ثابت ۱۳ ظرف در نظر گرفته شد.

کو و همکاران یک الگوریتم اکتشافی رول‌اوت (roll-out heuristic) را پیشنهاد کردند تا بهترین ترتیب سفارش در یک RCS/RS را پیدا کنند.

تیردسما یک شبیه‌سازی رویداد گسسته (DES) چند سناریویی را برای بازطراحی یک خط پردازش سفارش موجودی‌ها را برای شرکت پست هلند توسعه داد.

حمید و همکاران یک رویکرد محاسبه عملکرد عددی با استفاده از یک الگوریتم مسیریابی بهینه برای ربات‌ها توسعه دادند و تأثیر یک سیستم جلوگیری از تصادف را تجزیه و تحلیل کردند. برای یک سناریو آزمایشی خاص، کل توان عملیاتی با در نظر گرفتن موانع در مقایسه با نادیده گرفتن آن‌ها حدود ۱۰٪ کاهش یافت.

گالکا و همکاران یک مطالعه کاربری بین ۶۴ انبار که سیستم توستور در آن‌ها اجرا شده است را انجام دادند و نتایج کلی در مورد اندازه‌های شبکه در حال عملیات، تعداد ربات‌ها و ایستگاه‌های تحویل استفاده شده، مدل‌های شیفت کاری و تعداد سطل‌های سفارش در ساعت ارائه کردند و نسبت‌هایی مانند حداکثر تعداد ربات‌ها به ارتفاع سطل‌ها، تعداد ایستگاه‌های برداشت به تعداد ارتفاع سطل‌ها، یا تعداد ربات‌ها به ازای هر ایستگاه برداشت تشکیل دادند. سؤالات در مورد ظرفیت دست‌کاری سیستم‌ها، تعداد فرآیندهای جابه‌جایی، استراتژی‌های انبارداری یا مسیریابی ربات هنوز نیاز به پاسخ داشتند.

Commented [YS12]: M. Beckschäfer, S. Malberg, K. Tierney, C.

—Weskamp, Simulating storage policies for an automated grid-based warehouse system, University of Paderborn, Decision Support & Operations Research Lab, 2017

Commented [YS13]: D. Ko, J.A. Han, A roll-out heuristic algorithm for order sequencing in robotic compact storage and retrieval systems. Expert Systems with Applications. doi: 10.1016/j.eswa.2022.117396, 2022

Commented [YS14]: S. Tjeerdsma, Redesign of the Auto-Store order processing line, A multi-scenario discrete-event simulation study. University of Twente; 2019

Commented [YS15]: H. Hameed, A. Rashid, K.A. Amry, Automatic Storage and Retrieval System using the optimal —Path Algorithm. 3D SCEER Conference, 125 ۲۰۲۰, ۱۳۳

Commented [YS16]: S. Galka, C. Scherbarth, L. Troesch, — Autostore, Was Nutzer über das System berichten können —Ergebnisse einer Online-Umfrage, OTH Regensburg, doi: 10.35096/othr/pub646, 2020

یک سال بعد، گالکا و همکاران | مقاله ای را منتشر کردند که شامل توسعه یک شبیه سازی با همکاری یک شریک همکاری برای تعیین تأثیر تعداد ربات ها بر عملکرد سیستم بود. ارتفاع انباشت، اندازه شبکه، نوع ربات و ایستگاه برداشت به عنوان ثابت در نظر گرفته شدند. احتمالات مختلف دسترسی به سطوح انباشت به عنوان پارامترهای تحقیق و تغییر در تعداد ایستگاه های برداشت و ربات ها معرفی شدند. همانطور که انتظار می رفت، بالاترین نرخ های عبور با احتمال دسترسی که کمترین فرآیندهای جابه جایی را می طلبید، به دست آمد. بهره وری حاشیه ای وسایل نقلیه روی شبکه به عوامل زیادی بستگی دارد. علاوه بر این، در یک سیستم به طور دقیق تعریف شده، سؤال از اینکه چگونه کمک یک ربات دیگر بر عملکرد دست کاری تأثیر می گذارد، مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، نویسندگان توصیه کردند برای اطلاعات بیشتر در مورد عملکرد سیستم با تامین کنندگان مواد دست کاری تماس بگیرند به دلیل پارامترهای مختلف.

چن و همکاران | سیستم های RCS/RS سقفی (ORCS/RS) با جرثقیل های سقفی را با استفاده از سیاست های ذخیره سازی اختصاصی و مشترک درون پشته ها و منطقه بندی درون انبار توسط شبیه سازی رویداد گسسته (DES) عددی بررسی کردند.

تروست و همکاران | همچنین یک شبیه سازی رویداد گسسته (DES) را توسعه دادند تا تعداد بهینه ربات های فعال روی شبکه یک سیستم RCS/R را تعیین کنند. اندازه شبکه تغییر نکرد و حداکثر تعداد ربات ها شش بود.

از آنجا که سیستم های ذخیره سازی و بازیابی مبتنی بر شاتل (SBS/RS) در برخی نقاط مشابه RCS/RS هستند، محاسبه عملکرد برای RCS/RS می تواند حداقل از برخی رویکردهای SBS/RS استفاده کند.

کوسانیک و همکاران | یک مرور ادبیات جامع در مورد SBS/RS انجام دادند و مدل های مختلف برآورد عملکرد و استراتژی های کنترل علاوه بر توصیف سیستم را مطرح کردند. ادر و همکاران | یک رویکرد تحلیلی با استفاده از نظریه صف بندی برای تعیین توان عملیاتی یک راهرو از یک SBS/RS توسعه دادند. در اینجا، تعامل پویا بین بالابر و شاتل ها به طور مناسبی نمایش داده شد. برآورد او توسط یک شبیه سازی عددی (DES) تایید و تصدیق شد. علاوه بر چندین محاسبه عملکرد SBS/RS، لره ر نیز اثربخشی استراتژی های ذخیره سازی را بحث کرد. لورنک و لره ر | تأثیر آن بر زمان چرخه را بررسی

Commented [YS17]
J.S. Galka, C. Scherbarth, "Simulationsbasierte Untersuchung der Grenzproduktivität von Robotern in einem AutoStore-Lagersystem", Simulation in Produktion und Logistik 2021, Cuvillier Verlag Göttingen, 2021

Commented [YS18]
X. Chen, P. Yang, Z. Shao, Simulation-based timeefficient and energy-efficient performance analysis of an overhead robotic compact storage and retrieval system. Simulation Modelling Practice and Theory, 2022

Commented [YS19]
P. Trost, G. Kartnig, M. Eder, Simulation des Grenzdurchsatzes von Autostore-Systemen, Logistics Journal: Proceedings, 2022

Commented [YS20]
N. Kosanin, G. Milojevic, N. Zrnic, A Survey of literature on Shuttle Based Storage and Retrieval Systems, FME Transactions (2018) 46, 400-409 doi:10.5937/fmet1803400K, 2018

Commented [YS21]
M. Eder, G. Kartnig, Throughput Analysis of S/R Shuttle and Ideal Geometry for High Performance, FME Transactions (2016) 44, 174-179 doi:10.5937/fmet1602174E, 2016

M. Eder, G. Kartnig, Calculation Method to Determine the Throughput and the Energy Consumption of S/R Shuttle Systems, FME Transactions (2018) 46, 424-428, 2018. doi:10.5937/fmet1803424E, 2018

Commented [YS22]
A. Lorenc, T. Lerher, Effectiveness of Product StoragePolicy According to ClassificationCriteria and Warehouse Size, FME Transactions (2019) 47 142-149, 2019

کردند. راجکوویچ و همکاران یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه را توسعه دادند تا زمان چرخه را به حداقل برسانند. یکی دیگر از انتشاراتی که باید ذکر شود، توسط آرنولد و فورمانس است. آن‌ها با "طراحی از سیستم‌های انتقال دهنده با چندین وسیله نقلیه مستقل و قابل عملیات به صورت فردی، مانند لیفتراک‌ها، جرثقیل‌های انبار، شاتل‌ها، یا ربات‌ها روی شبکه. هدف اصلی آن‌ها یافتن استفاده فنی و اقتصادی بهینه از این وسایل نقلیه بود. آن‌ها پیشنهاد می‌کنند که انجام یک شبیه‌سازی عددی به عنوان روشی برای تجزیه و تحلیل دقیق، که می‌تواند یک رویکرد تحلیلی با استفاده از نظریه صف بندی را تایید کند. در هر صورت، افزایش تعداد وسایل نقلیه «فراتر از سطحی سازگار با مفهوم سیستم» منجر به انسداد و بلوکه شدن بین وسایل نقلیه می‌شود. ظرفیت عبور کاهش می‌یابد اگر تعداد بهینه تجاوز شود، همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است.

همانطور که دیده می‌شود، تحقیقات علمی درباره RCS/RS تنها چند سال پیش آغاز شد و دارای چندین مسئله باز است. یک سری به مطالعات بیشتر انجام شده در مورد SBS/RS نشان می‌دهد که شکاف تحقیق را می‌توان به سه دسته اصلی تقسیم کرد:

- طراحی سیستم
- عملکرد سیستم
- کنترل سیستم

این مقاله یک توصیف دقیق از سیستم و یک مطالعه شبیه‌سازی ارائه می‌دهد که عملکرد سیستم را با تغییرات گسترده پارامتری تعیین می‌کند.

M. Rajkovic, N. Zrnic, N. Kosanic, M. Borovinsek: **Commented [YS23]**

T. Lerher, A Multi-Objective Optimization model for minimizing cost, travel time and CO2 emission -in an AS/RS, FME Transactions (2017) 45, 620
doi:10.5937/fmet1704620R, 2017, ۶۲۹

D. Arnold, K. Furmans, Materialfluss in Logistiksystemen, 7. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2019: **Commented [YS24]**

فصل سوم

مطالعات انجام شده

مطالعات انجام شده

۳-۱ سیستم‌های RCS/R موجود و مقایسه‌ی آن‌ها

این بخش سیستم‌های موجود برای بازیابی و ذخیره‌سازی اتوماتیک به وسیله موبایل ربات‌ها در انبارهای تراکم بالا و فناوری‌ها، طراحی و زمینه‌های کاربردی آن‌ها می‌پردازد. در حال حاضر، چهار تامین‌کننده برتر RCS/RS در بازار وجود دارند:

- اتواستور (AutoStore)
- اوکادو (Ocado)
- یونگهاینریش (Jungheinrich)
- والیوم درایو (Volume Dive)

هر کدام از این سیستم‌ها ویژگی‌های منحصر به فردی دارند که آن‌ها را برای کاربردهای مختلف مناسب می‌سازد، از خرده‌فروشی و لجستیک گرفته تا بهداشت و درمان و صنعت.

• اتواستور (AutoStore)

سیستم توسط ایگنار هوگنلند نروژی حدود بیست تا سی سال پیش اختراع شد. ایده او برای افزایش بهره‌وری از فضای انبار، عمدتاً از سال ۲۰۱۵ پیشرفت بیشتری یافت و تعداد انبارهای موجود به طور چشمگیری افزایش یافت. امروزه، اتواستور یک شرکت سهامی عام با ارزش بازار ۱۲ میلیارد دلار است. شکل ۱-۳ یک انبار اتواستور با دو ایستگاه برداشت/دریافت (بندرگاه) را نشان می‌دهد. اتواستور به طور مداوم سیستم خود را توسعه داده و بیش از ۸۵۰ سیستم ذخیره‌سازی را در سراسر جهان نصب کرده است. اتواستور یک سیستم ذخیره‌سازی خود-مرتب‌کننده را با بازگرداندن همه محفظه‌های قبلاً جابه‌جا شده را مدعی است که ارایه می‌دهد. این خود-مرتب‌سازی در صورت وجود ساختار مقاله مبتنی بر کلاس متمایز، سرعت‌های بالایی را به همراه دارد. زمینه‌های کاربردی استاندارد شامل خرده‌فروشی، لجستیک طرف سوم، بهداشت و درمان و صنعت و تجارت مواد غذایی است.



شکل ۳-۱: سیستم اتواستور

- پلتفرم هوشمند اوکادو (Ocado Smart Platform)

اوکادو به عنوان یک فروشنده مواد غذایی آنلاین بریتانیایی تأسیس شد و اکنون یک تامین‌کننده سخت‌افزار و نرم‌افزار در کل زنجیره تامین مواد غذایی است. مشابه اتواستور، اوکادو نیز کالاها را در محفظه‌های پلاستیکی انباشته ذخیره می‌کند. ربات‌ها کوچکتر از آنهایی هستند که از اتواستور آمده‌اند، زیرا تنها دارای ابعاد سلولی از یک عنصر شبکه هستند، همانطور که در شکل ۳-۲ دیده می‌شود. در حالی که اتواستور اثر خود-مرتب‌سازی خود را تبلیغ می‌کند، اوکادو به دلیل فعالیت در زمینه تجارت مواد غذایی و عدم وجود توزیع مقالات ABC، از بازگشت‌های مجدد سطل‌ها صرف‌نظر می‌کند.



شکل ۳-۲: سیستم اوکادو

- یونگهاینریش پاور کیوب (Jungheinrich Powercube)

یونگهاینریش یک RCS/RS معکوس با ربات‌هایی که در سطح زمین عمل می‌کنند و کانال‌های ذخیره‌سازی بالای آن‌ها، به نام پاور کیوب، توسعه داد. چنگال‌های طراحی شده ویژه روی پروفایل‌های شبکه، محفظه‌ها را نگه می‌دارند. این سیستم امکان طراحی انعطاف‌پذیر به سمت بالا و ارتفاع‌های انباشت تا ۱۲ متر (۲۵-۳۰ محفظه انباشت کالا) را فراهم می‌کند. شکل ۳-۳ سیستم را با ربات‌هایی زیر محفظه‌های انباشته نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود، ربات‌ها می‌توانند دو محفظه را حمل کنند که یک نوآوری است. این می‌تواند فرآیند جابه‌جایی را سرعت بخشد.



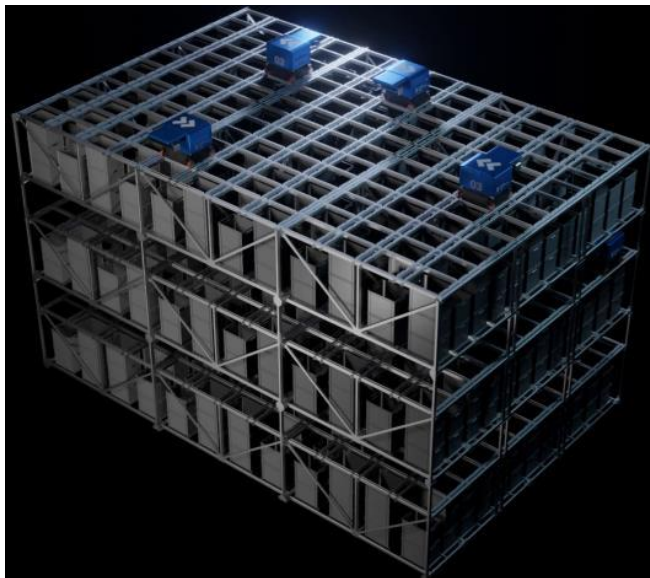
شکل ۳-۳: سیستم یونگهاینریش

یک مزیت قابل توجه دیگر، زمان کمتر مورد نیاز برای بلند کردن و پایین آوردن است، زیرا همیشه یک محفظه مستقیماً بالای ربات قرار دارد، در مقابل اتواستور که ممکن است یک ربات نیاز به بلند کردن یک محفظه از سطح زمین داشته باشد، که زمان بیشتری نسبت به بلند کردن محفظه ذخیره شده در بالا می‌برد.

• والیوم درایو (Volume Dive)

والیوم درایو نیز یک RCS/RS جدید در بازار است. ربات‌ها دارای یک واحد بلند کردن و پایین آوردن قابل چرخش ۳۶۰ درجه با یک گیره هستند. یک نوآوری دیگر، چرخ‌های قابل چرخش ربات است که تعداد چرخ‌ها را از هشت به چهار چرخ در مقایسه با رقبا کاهش می‌دهد. ارتفاع انباشت سیستم به سه محفظه ثابت شده است، که منجر به تقاضای کم برای جابه‌جایی‌ها می‌شود. یک تفاوت بزرگ دیگر

نسبت به اتواستور یا اوکادو این است که بازیابی‌ها می‌توانند در هر موقعیتی در امتداد لبه شبکه انجام شوند. شکل ۳-۴ سیستم ذخیره‌سازی والیوم درایو را با سه زیرمجموعه، هر کدام سه محفظه انباشته را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴: سیستم والیوم درایو

هرچند ارتفاع انباشت به سه محدود است، سیستم می‌تواند ارتفاع‌های کلی تا ۱۴ متر را با چندین زیرمجموعه انباشته شده بالاتر دست‌یابد. علاوه بر کاربردهای معمول مانند مواد غذایی، تجارت الکترونیک، خرده‌فروشی، عمده‌فروشی و به عنوان یک تخصص، انبارهای قفسه نوشیدنی، والیوم درایو به دلیل طراحی بسیار قابل تعمیم و ماژولار خود، برای انبارهای کوچک مناسب است.

۲-۳ توصیف سیستم و فرآیند ها

در این نوشتار سیستم مورد بررسی سیستم اتواستور میباشد که مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است. سیستم‌های RCS/R به دلیل طراحی ساده‌شان تحسین‌برانگیز هستند، زیرا اساساً از چهار قطعه سخت‌افزار اصلی ساخته شده‌اند:

- محفظه‌ها
- شبکه
- ربات(ها)
- ایستگاه(های) تحویل/دریافت

در این فصل یک سیستم RCS/RS نمونه را (مانند اتواستور، اوکادو، والیوم درایو) ارائه و توصیف می‌شود. کالاهای در محفظه‌های پلاستیکی ذخیره می‌شوند که روی یکدیگر انباشته شده‌اند. این امر امکان دسترسی به چگالی خیلی بالای ذخیره‌سازی در فضا را فراهم می‌کند اما همچنین به این معناست که نمی‌توان به هر محفظه ذخیره‌سازی به طور مستقیم در هر زمانی دسترسی داشت. فرض کنید یک دستور بازیابی بدون دسترسی مستقیم به محفظه مورد نیاز، همه محفظه‌های دیگر انباشته شده بالای محفظه درخواستی باید جابجا شوند. هر نوع محفظه ارتفاع انباشته ماکزیمم متفاوتی به دلیل شرایط فنی دارد. معمولاً ابعاد محفظه‌ها ۶۰۰ در ۴۰۰ میلی‌متر است. ارتفاع از ۲۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر متغیر است.

محفظة‌ها بدون راهروها یا طبقات خالی در کنار یکدیگر ذخیره می‌شوند و منجر به یک طرح ذخیره‌سازی بلوکی می‌شوند. یک پروفیل آلومینیومی یا فولادی پیچ و مهره ای به عنوان حدوصل بین محفظه‌های ذخیره‌سازی و به عنوان یک شبکه ریلی عمودبرهم برای ربات‌ها استفاده می‌شود، همانطور که در تصویر ۵ دیده می‌شود. هیچ محدودیتی در مورد اندازه شبکه یا نسبت طول به عرض وجود ندارد. همچنین، گسترش یا حذف شبکه به راحتی امکان‌پذیر است.

سیستم به طور کاملاً خودکار توسط ربات‌ها از بالا عملیاتی می‌شود. ربات‌ها با باتری کار می‌کنند. تقریباً تمام ربات‌های موجود در بازار دارای سیستم‌های بازیابی انرژی هستند. ربات از یک چهارچوب

زاویه‌ای با چهار رشته طناب تخت برای بلند کردن یک محفظه استفاده می‌کند. این مکانیزم همچنین برای پایین آوردن/بالا بردن محفظه به/از روی انباشت محفظه‌ها استفاده می‌شود. ابعاد سلول ربات فضایی را که ربات به دلیل هندسه خود نیاز دارد، تعریف می‌کند. در حالی که اندازه پایه سری‌های قدیمی‌تر معمولاً بر روی دو عنصر شبکه گسترش می‌یابد، نسخه‌های جدیدتر فقط یک یا یک و نیم عنصر شبکه را مسدود می‌کنند. در سیستم‌هایی که از انواع مختلف ربات‌ها ترکیب شده‌اند، ربات‌های سریع‌تر باید خود را با کندترها تطبیق دهند.

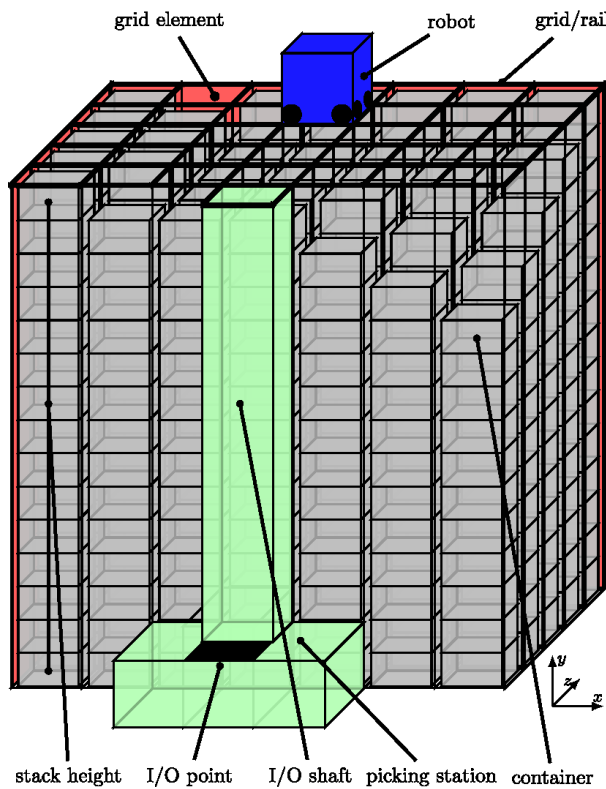
همچنین سیستم‌های تغییر جهت دیگری در بازار موجود است. در حالی که مدل‌های قدیمی‌تر باید چرخ‌های خود را برای راندن در یک جهت خاص بلند یا پایین کنند، ربات‌های جدیدتر می‌توانند چرخ‌ها را بچرخانند، که تعداد چرخ‌ها را از هشت به چهار کاهش می‌دهد.

در صورت بازیابی، ربات محفظه مورد نیاز را از مکان ذخیره‌سازی مربوطه برمی‌دارد و آن را به ایستگاه برداشت اختصاص یافته در یک لبه شبکه حمل می‌کند. همانطور که ذکر شد، گاهی اوقات جابجایی‌ها برای دسترسی به محفظه لازم است. محفظه‌هایی که باید جابجا شوند، به ستون‌های ذخیره‌سازی دیگر منتقل می‌شوند. در این راستا، چندین استراتژی می‌تواند اعمال شود. هدف همیشه باید این باشد که کل زمان مورد نیاز برای این کار به حداقل برسد. ایستگاه تحویل/دریافت در جلوی انبار - که به عنوان بندر نیز شناخته می‌شود - توسط شافت ورودی/خروجی به سطح شبکه متصل است. برخی از سیستم‌ها در ایستگاه‌های برداشت به گونه‌ای عمل می‌کنند که بلافاصله پس از برداشتن یک مورد ذخیره‌سازی، یک شیء دیگر در همان محفظه ذخیره می‌شود (چرخه دستور دوگانه).

پس از بازیابی، برخی سیستم‌ها، مانند اتواستور، همچنین جابجایی‌های بازگشتی را انجام می‌دهند. این به این معناست که ربات محفظه‌های قبلاً جابجا شده را به ترتیب اصلی انباشته بازمی‌گرداند. یک دلیل برای این کار می‌تواند یک ساختار مقاله مبتنی بر کلاس باشد.

۳-۳ تعاریف سیستم

بر اساس سیستم توصیف شده در بخش قبل، تعاریف اصطلاحات عمومی برای سیستم‌های RCS/R و اجزای آن‌ها، مطابق با شکل ۳-۵، به ترتیب انجام شده است.



شکل ۳-۵: تعاریف سیستم

➤ بافر (Buffer): به عنوان فضای ذخیره‌سازی برای ایجاد تعادل استفاده می‌شود، که برای ایجاد تاخیر

یا به اصطلاح پل زدن زمان‌کارد دارد.

➤ ابعاد سلول (Cell dimension): منطقه‌ای که یک ربات برای ابعاد خود نیاز دارد.

- محفظه (Container): ظرف پلاستیکی که متناسب با واحد ذخیره‌سازی است.
- شافت ورودی/خروجی (I/O shaft): شافتی که سطح شبکه را با سطح برداشت متصل می‌کند؛ ربات‌ها می‌توانند محفظه‌ها را از طریق این شافت پایین یا بالا ببرند.
- بالابر محفظه (Container lift): در پورت، بالابر برای پایین آوردن/بلند کردن محفظه‌ها از/به سطح شبکه از/به سطح برداشت؛ اگر ایستگاه برداشت دارای بالابر باشد، در شافت ورودی/خروجی حرکت می‌کند.
- شبکه (Grid): سیستم ریلی برای ربات‌ها بر روی سطح شبکه و تقسیم شبکه برای محفظه‌های انباشت.
- سطح شبکه (Grid level): سطح حرکت ربات بر روی آخرین سطح انباشت محفظه‌ها.
- عنصر شبکه (Grid element): زیر-عنصر شبکه که محفظه مربوطه روی انباشت ذخیره می‌شود.
- مکانیزم لیفت (Lifting mechanism): در قسمتی از ربات، چهارچوب پروفایل زاویه‌ای با چهار رشته طناب پایین می‌آید، که می‌تواند محفظه‌ها را بلند یا پایین کند.
- ایستگاه برداشت (Picking station): محل کار که در آن برداشت انجام می‌شود.
- سطح برداشت (Picking level): سطح انبار که در آن برداشت انجام می‌شود.
- منطقه محدود (Restricted zone): عناصر شبکه‌ای که نمی‌توان در آن‌ها محفظه‌ها ذخیره کرد؛ ربات‌ها می‌توانند روی آن‌ها حرکت کنند (معمولاً نزدیک شافت ورودی/خروجی که از انسدادها جلوگیری می‌کند اما چگالی ذخیره‌سازی را به حداقل می‌رساند).
- ربات (Robot): وسیله نقلیه بدون راننده راهنمایی شده توسط ریل روی شبکه، که می‌تواند با کمک مکانیزم بلند کردن، محفظه‌ها را بلند یا پایین کند.
- انباشت (Stack): انباشته‌ای از محفظه‌ها در یک عنصر شبکه.
- ارتفاع انباشت (Stack height): تعداد محفظه‌های انباشته شده روی هم (در یک عنصر شبکه).

عوامل تأثیرگذار

بر اساس توصیف این بخش، ظرفیت عبور یک RCS/RS - علاوه بر توزیع مقاله - به طیف وسیعی از عوامل تأثیرگذار بستگی دارد که بخشی از آن‌ها نیز با یکدیگر تعامل دارند.

به طور کلی، سیستم‌های ذخیره‌سازی با سه بعد زیر مشخص می‌شوند:

- ظرفیت ذخیره‌سازی (Storage capacity)

- اندازه انبار (Warehouse size)

- ظرفیت عبور (Throughput)

این موارد مشابه با RCS/RS است، همانطور که در شکل ۳-۵ دیده می‌شود. ربات‌ها، ایستگاه‌های برداشت، و اندازه شبکه به همراه استراتژی انبار و برخی پارامترهای عملیاتی مانند درجه پرشدگی یا ارتفاع انباشت، سه متغیر اصلی را پیش‌بینی می‌کنند:

- ظرفیت ذخیره‌سازی (Storage capacity)

- مسافت سفر (Travel distance)

- زمان چرخه (Cycle time)

تعداد ایستگاه‌های برداشت و موقعیت آن‌ها در امتداد لبه‌های شبکه تأثیر قابل توجهی بر مسافت سفر و در نتیجه بر ظرفیت عبور دارد. از یک طرف، ظرفیت ذخیره‌سازی توسط اندازه شبکه و ارتفاع انباشت تعریف می‌شود، اما از طرف دیگر، انواع ربات‌ها و نحوه برخورد آن‌ها با محفظه‌ها و در نتیجه درجه پرشدگی ممکن است ظرفیت ذخیره‌سازی ممکن را کاهش دهد.

همانطور که شکل ۳-۵ نشان می‌دهد، تعداد زیادی از عوامل تأثیرگذار، پیش‌شرط‌ها، و تعاملات به طور چشمگیری پیچیدگی سیستم‌های RCS/R را نشان می‌دهند

فصل چهارم: مدل فیزیکی و اعتبار سنجی

مدل فیزیکی و اعتبار سنجی

۴-۱-۱) ارایه ی ملزومات مدل فیزیکی

۴-۱-۱ شناسایی نیاز

نیاز ما رباتی متحرک، با قابلیت حمل و ذخیره سازی سطل جهت جا به جایی و ذخیره سازی سطل از نقطه ای با ارتفاع مشخص به نقطه دیگر، در محیط آزمایشگاهی و با قابلیت عبور از موانع و انجام عملیات در زمان مشخصی می باشد. نیاز به چنین رباتی در انبارداری جهت کاهش هزینه ها و مشکلات نیروی انسانی، رفتن به سمت اتوماسیون و انجام کارهایی تکراری بدون افت راندمان و سرعت و دقت بالا می باشد. بنابراین هیچ حادثه ای ناشی از غفلت و خستگی رخ نخواهد داد. در این سطح پروژه ما ساختار ربات و الزامات محیط کاری آن جهت این امر در محیط آزمایشگاهی را تعیین می نماییم. پس از تعیین موقعیت سطل، ربات مورد نظر ابتدا باید به ستون مورد نظر مراجعه کند که در این مسیر موانع ثابت و متحرکی قرار دارند که ربات باید توانایی تشخیص آنها را داشته باشد و در صورت نیاز مسیر حرکتی خود را تغییر دهد. سپس باید سطل را از ستون انبار خارج کرده و منتظر ربات تحویل دهنده شود و سطل را به ربات تحویل دهنده تحویل دهد. علاوه بر اینها، قید زمانی جهت کم کردن انرژی مصرفی نیز مطرح میباشد.

بنابراین می‌توان گفت نیازهای زیر مطرح هستند:

- دریافت سیگنال عملکرد
- خروج از حالت استند بای
- تایید موقعیت ربات و ارسال به سیستم مرکزی
- دریافت مسیر
- تعیین ترجیح‌توری مناسب برای مسیر تعیین شده توسط هسته مرکزی
- آغاز حرکت

- حرکت مناسب
- سرعت مناسب جهت کمینه کردن زمان
- رسیدن به هدف
- تایید موقعیت هدف و ارسال به هسته ی مرکزی
- برداشتن سطل های بالایی
- دسترسی به سطل مورد نظر
- تحول سطل به ربات تحویل دهنده
- برگشت به حالت استند بای برای دستور بعدی

6WHC پروژه به این شرح می باشد

| توضیحات | |
|---------|--|
| What | استخراج سطل در لایه های زیرین |
| Why | بالا آوردن سطل در لایه های زیرین با فقط یک نوع ربات کار زمان بر و پرهزینه تری خواهد بود |
| When | زمانی که دستور به ربات داده می شود. |
| Where | در انبار های خرده فروشی های آنلاین. |
| Whom | کاربری سامانه برای رسیدن به اهداف از پیش تعیین شده |
| Who | برای کارفرمای پروژه انجام می شود. |
| How | با دنبال کردن مسیر و استفاده از گریپر ربات برای بالا آوردن سطل ها این فرآیند انجام می شود. |
| Cost | هزینه های ساخت نمونه ی آزمایشگاهی. |

۲-۱-۴ امکان سنجی

- فنی

به سه بخش مکانیک، الکترونیک و کنترل تقسیم می‌شود.

- ❖ مکانیک

- ☒ بدنه

این بخش باید استحکام کافی برای تحمل وزن بقیه مازول هایی که بر روی آن سوار می‌شوند را داشته باشد هم چنین بتواند از پس تنش‌های ناشی از جا به جایی سطل ها بر بیاید. این بخش از سازه می‌تواند با استفاده از مواد متفاوتی ساخته شود. این مواد می‌تواند فلز، فولاد و ... باشد اما با توجه به آن چه در اختیار داریم آلومینیوم یا پلاستیک فشرده در فاز آزمایشگاهی انتخاب شده است. این پلاستیک فشرده در قالب های مختلف به صورت قطعات استاندارد از پیش ساخته شده است که کار ما را برای ایجاد بدنه ساده تر می نماید.

- ☒ گریپر

این بخش وظیفه‌ی گرفتن و رها کردن سطل را دارد. بنابراین باید توانایی حمل سطل مورد نظر و هم چنین محکم گرفتن آن را داشته باشد.

- ☒ انتقال قدرت و تعلیق

در حالت کلی برای جا به جایی مد نظر یک شبکه ی تیر ها بر روی بالا ترین سطح انبار در اختیار است که پستی و بلندی ندارد و بنابراین نیاز به یک سیستم پیچیده برای جا به جایی وجود ندارد. و چون سرعت مطرح نیست نگرانی از این بابت نخواهد بود. در مورد سیستم تعلیق چون پستی و بلندی وجود ندارد از میرایی ذاتی می توان استفاده نمود و نیاز به میراگر (دمپر) نداریم.

- ☒ فرمان

در ربات های شرکت های دیگر ۸ چرخ وجود دارند که ۴ تای آن ها عمود بر دیگری هستند ما هم همین استراتژی را برای چرخ ها در نظر میگیریم و از ۸ چرخ استفاده کرده و در زمان حرکت به سمت عمود بر ۴ چرخ مخالف حرکت چرخ ها باید بالا بیایند و مانع از حرکت نشوند.

❖ الکترونیک

☑ اتصالات

در اصل در انبار ها از کنترل رادیویی 4G برای ارتباط با ربات استفاده می‌شود. اما با توجه به آن چه در دست داریم بهترین راه استفاده از اتصال وای فای می‌باشد.

☑ تغذیه

برای چنین سیستمی می‌توان از باتری‌های قابل شارژ و یا رک اتصال مستقیم استفاده نمود. با توجه به آن چه در دست داریم برای تامین نیرو این مجموعه دو راه باتری های غیر شارژی قلمی و پک باتری شارژ شونده قابل انتخاب است که بیشترین سازگاری را با سیستم خواهد داشت.

☑ محرک‌ها

از آن جایی که ابعاد کار کوچک است و هم چنین موتورهای باید قابلیت فعالیت جداگانه را داشته باشند استفاده از موتورهای الکتریکی گزینه‌ی مناسب تری است. چون ما نیازمند تغییر سرعت هر موتور به صورت جداگانه هستیم از موتورهای سروو در این پروژه استفاده می‌شود که نیاز های ما را برآورده سازد.

☑ واحد مدیریت

برای مدیریت سیستم می‌توان روش های مختلفی متصور شد. با توجه به این که هدف این است که ربات خود مسیر را طی کند بهترین انتخاب یک مازول کنترل کننده روی بدنه می‌باشد که بتواند اطلاعات مورد نیاز از عملگرها و حسگرها را پردازش کرده و پاسخ مورد نیاز را بدهد. به این منظور می‌توان از پردازنده‌های مجتمع هم چون رزبری پای، آردوینو و ... استفاده نمود.

☑ حسگرها

برای شناخت این که ربات در کجای مسیر قرار گرفته و این که محیط اطراف در چه شرایطی است باید از حسگرهای مناسب استفاده نمود. می‌توان به این منظور از دوربین، RFID و ... استفاده نمود. با توجه به نیازهای ما در مسیریابی و پیدا کردن مکان ربات تگ های RFID میتوانند مناسب باشند.

❖ کنترل

☑ پیاده سازی

برای این بخش می توان از سیستم های کنترلی حلقه باز یا بسته استفاده نمود. این کنترل می تواند از نوع PID ، P و ... باشد که بر حسب نیاز در مراحل طراحی جزئی مشخص خواهد شد. هم چنین بر حسب نیاز می توان نوع کنترل را تغییر داد.

• اقتصادی

این پروژه هدف اقتصادی ندارد بنابراین ضرورتی به بررسی سود و مدت بازگشت سرمایه وجود ندارد.

۳-۱-۴ مدیریت الزامات (خواسته ها)

| الزامات عملیاتی | |
|-----------------|--|
| ۱ | قابلیت حرکت ربات در مسیر تعیین شده |
| ۲ | قابلیت حمل سطل تا انتهای بالا به گونه ای که سطل در وسط مسیر رها نشود. |
| ۳ | قابلیت تشخیص مانع و سطل |
| ۴ | قابلیت گرفتن سطل توسط گریپر |
| ۵ | باید ابعاد سطل متناسب با ابعاد ربات برای اجرای عملیات بر روی آن انتخاب گردد. |
| ۶ | ربات برای انجام وظیفه در شرایط متعارف دمایی و محیطی طراحی می شود. |
| ۷ | دقت مناسب برای سنسورهای تشخیص سطل لازم است. |
| ۸ | ربات باید انرژی الکتریکی لازم در حین اجرای وظیفه را داشته باشد و در وسط کار متوقف نشود. |
| ۹ | باید بتواند با سرعت مناسب در طول مسیر حرکت کند و ناگهان سرعت آن بیش از اندازه کم یا زیاد نشود. |

| الزامات فنی | |
|-------------|---|
| ۱ | واحد مکانیکی و عملگرها |
| ۱-۱ | ربات برای حرکت به سمت X و Y به موتور الکتریکی سروو نیاز دارد. |

| | |
|-----|--|
| ۱-۲ | یک بدنه مکانیکی برای قرارگیری بخش‌های مختلف ربات از جمله چرخ‌ها و... مورد نیاز است. |
| ۱-۳ | حداقل ۸ چرخ برای حرکت ربات لازم است. |
| ۱-۴ | ربات برای گرفتن و حمل سطلی که ابعاد و وزن آن توسط ما تعیین می‌شود به یک گریپر احتیاج دارد. |
| ۲ | واحد الکترونیک |
| ۲-۱ | مدارات الکترونیکی برای راه‌اندازی موتور، دریافت داده از سنسور ها و فرمان به عملگرها برای انجام وظیفه ربات لازم است. |
| ۲-۲ | سنسورها برای تشخیص مانع و سطل و قرارگیری آن‌ها در محل مناسب. |
| ۲-۳ | باتری برای تغذیه موتورها، مدارات الکترونیکی و برد کنترلی لازم است. |
| ۲-۴ | برای تشخیص بهتر سطل از تگ RFID استفاده می‌شود. |
| ۳ | واحد کنترل و نرم‌افزار |
| ۱-۳ | برای حرکت صحیح ربات در زمین اجرایی و پردازش اطلاعات سنسوری برای انتخاب نوع عمل و مسیر به برنامه‌نویسی با نرم‌افزار های لازم آردوینو و یا پایتون برای رزبری پای احتیاج داریم. |
| ۳-۲ | ماژول کنترلی برای دریافت برنامه نوشته شده در نرم‌افزار و همچنین دریافت اطلاعات سنسورها و ارسال فرمان به عملگرها مورد نیاز است. |

| | |
|-----|--|
| | الزامات نگهداری و پشتیبانی |
| ۱ | سطح عمومی |
| ۱-۱ | نگهداری ربات در دمای متعارف محیط به دور از گرما یا سرمای شدید |
| ۱-۲ | استفاده از ربات در شرایط عاری از گرد و خاک، رطوبت و سایر آلودگی‌ها |
| ۱-۳ | رفع ایرادات جزئی در اتصالات مدار الکترونیکی و یا قطعات ربات و... . |
| ۱-۴ | امکان تغییر برنامه نوشته ربات |
| ۲ | سطح متوسط |

فصل چهارم : مدل فیزیکی و اعتبار سنجی

| | |
|-----|--|
| ۲-۱ | امکان خرید مجدد قطعات شکسته شده یا غیر قابل تعمیر ربات |
| ۲-۲ | امکان تعمیر مازول کنترلی ربات توسط تعمیرکار در صورت لزوم |
| ۳ | سطح پیشرفته |
| ۳-۱ | الزامی وجود ندارد |

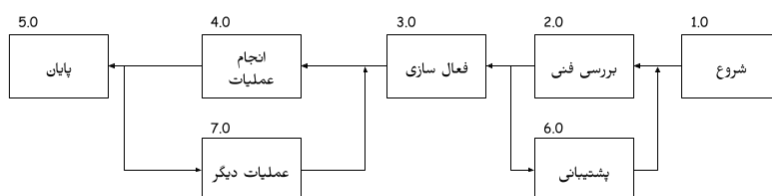
| الزامات مدیریتی | |
|-----------------|--|
| ۱ | تیم اجرایی |
| | یاسین صالحی |
| ۲ | اعضای تیم |
| | یاسین صالحی |
| ۳ | تقسیم وظایف |
| | همه ی وظایف به عهده ی یاسین صالحی است. |
| ۴ | برآورد هزینه |
| | برآورد هزینه حدود ۶ میلیون تومان. |
| ۴ | تخمین زمان اتمام پروژه |
| | حدودا تا آواخر تابستان ۱۴۰۱ |
| ۵ | مدیریت ریسک |
| | سوختن اجزای مختلف ربات به دلیل شناخت نسبتا غیر دقیق از اجزا و افزایش هزینه ی برآورد شده. |

۴-۱-۴ معیارهای سنجش فنی و عملکردی (TPM)

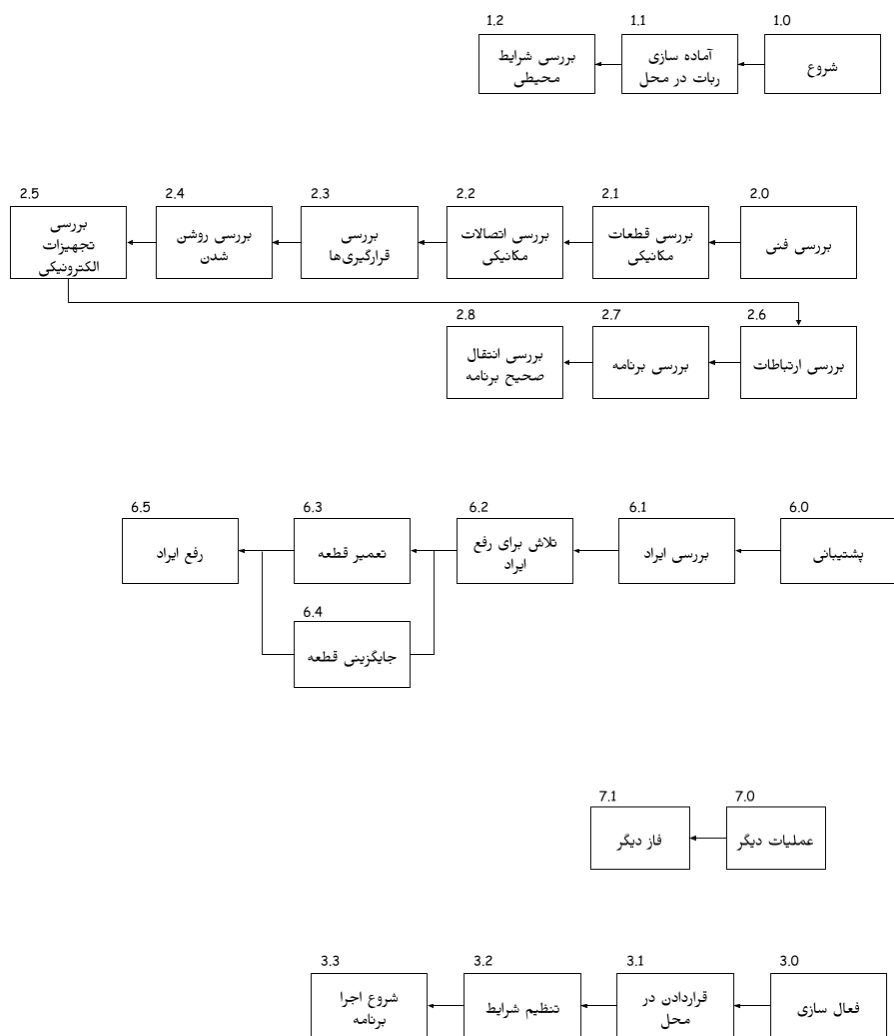
| پارامترهای عملکرد فنی | الزام کمی | وزن دهی (درصد) |
|---|-----------------------|----------------|
| ۱ اندازه ربات | حداکثر ۱۰۰*۱۰۰*۱۰۰ | ۵ |
| ۲ وزن ربات | ۱±۲ کیلوگرم | ۵ |
| ۳ ارتفاع قابل دسترسی برای گرفتن جسم | بین ۲ تا ۵۰ سانتی متر | ۱۰ |
| ۴ جرم جسم قابل حمل | حداکثر ۲۰۰ گرم | ۱۰ |
| ۵ نوع زمین قابل عبور | رک | ۲۰ |
| ۶ مدت زمان نگهداری شارژ توسط باتری | ۲ ساعت | ۱۰ |
| ۷ ظرفیت ربات (تعداد سطل) | حداقل ۵ عدد | ۲۰ |
| ۸ زمان لازم برای انجام کامل وظیفه توسط ربات | حداکثر ۳ دقیقه | ۲۰ |

۴-۱-۵ تحلیل و تخصیص عملکردها

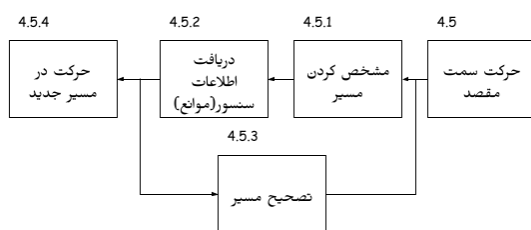
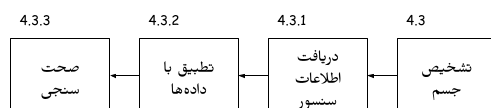
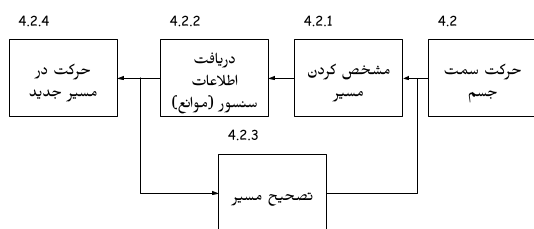
☑ نمودار سطح ۱



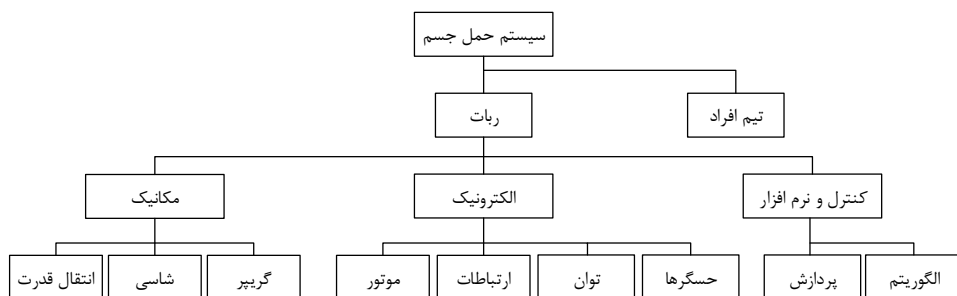
☑ نمودارهای سطح ۲



✓ نمودار های سطح ۳



✓ سیستم و زیر سیستم ها



فصل پنجم: جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی بر آن شد، که یکی از معضلات انبار داری به روش انبار داری اتواستور با معرفی نوعی ربات جدید و همکاری بین انواع قدیمی ربات های موجود در این انبار ها و ربات معرفی شده حل شود. در ربات نوع جدید (ربات جمع کننده) همزمان ربات چندیدن محفظه انباشت کالا را با ارتفاع محدود از ستون ذخیره سازی بازیابی کرده و محفظه انباشت کالا هدف را در اختیار ربات تحویل دهنده می‌گذارد. و ربات جمع کننده به همان شکل قبلی این بالا بر خود را رو به پایین حرکت داده و محفظه انباشت کالا ها در جای خود قرار می‌دهد. در این روش مشکل توان عملیاتی این نوع انبار ها تا حدود زیادی مرتفع می‌شود و در صورت پیداه سازی این انبار ها را در بهینه ترین حالت خود قرار خواهد داد.

پیشنهادهات

در کار های آینده می‌توان بر روی بازیابی محفظه انباشت کالا ها به صورت زیر محفظه انباشت کالا ها تمرکز کرد تا حتی بیشتر از حال حاضر بهره وری در این نوع انبار ها افزایش یابد.

منابع و مراجع

Uncategorized References

1. Galka, S., *AutoStore-was Nutzer über das System berichten können: Ergebnisse einer Online-Umfrage*. 2020.
2. Gutelius, B. and N. Theodore, *The future of warehouse work: Technological change in the US logistics industry*. 2019.

Abstract

پیوست‌ها

Abstract

Abstract

This abstract will be written at the end of the project.

Key Words: Robotics, Warehouse, e-commerce retail, Cooperative Robots



**Amirkabir University of Technology
(Tehran Polytechnic)**

**Department of Mechanical and Electrical Engineering
Mechatronics Group**

M.Sc. Thesis

**Automatic storage and retrieval of bins in warehouse
4.0 by delivery and collection cooperative robot**

**By
YASIN SALEHI**

**Supervisor
Dr. S. MEHDI REZAEI
Dr. AMIRABOLFAZL SURATGAR**

2024