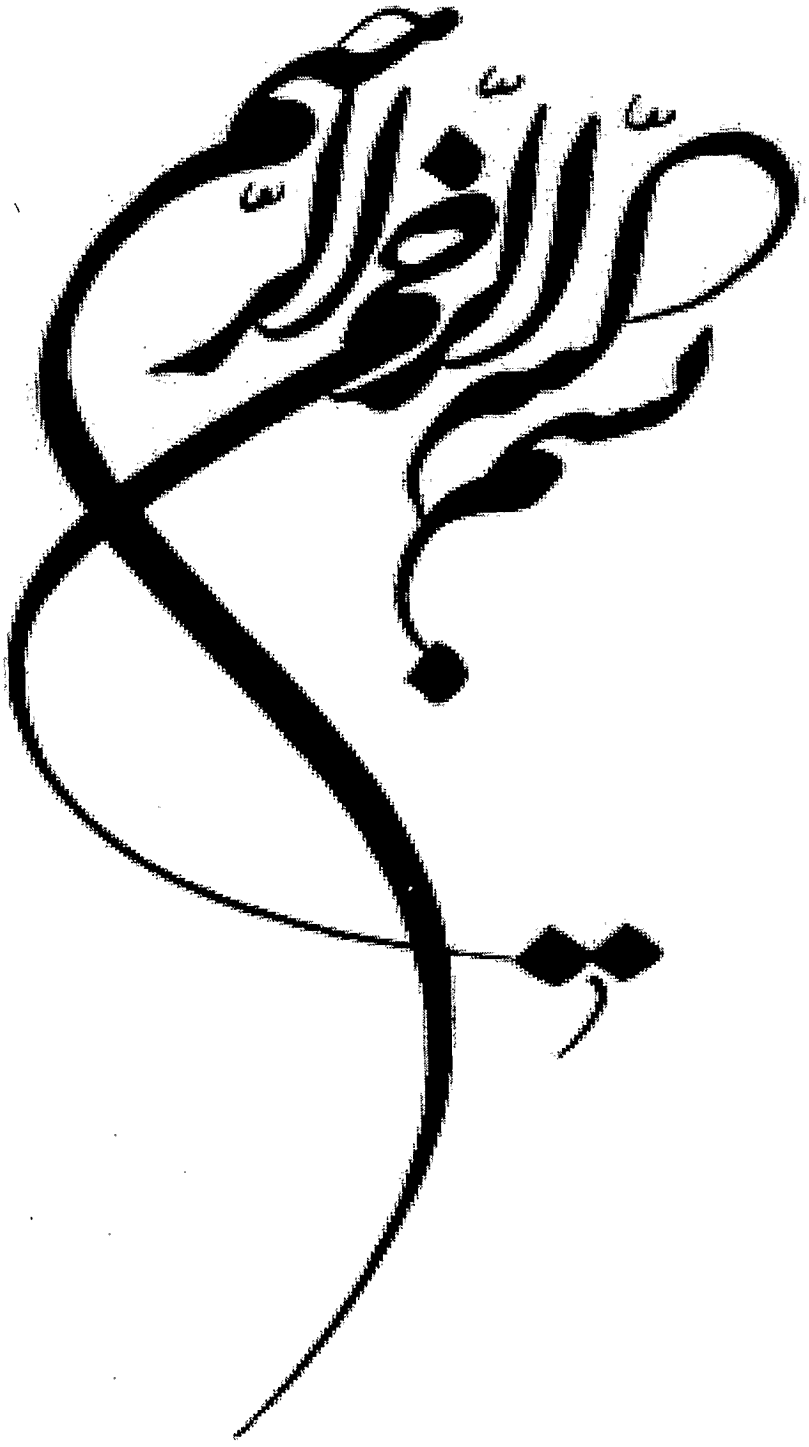


١٠٨٦٨

۸۷/۱/۱۰۸۹۴۱
۸۷/۱۲/۴

دانشگاه شیراز

دانشکده مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک (طراحی کاربردی)

دینامیک و کنترل روبات از راه دور دوسویه با تاخیر زمانی در کانال ارتباطی

توسط:

حماد کشاورزپور کومله

اساتید راهنما:

دکتر محمد اقتصاد

دکتر مهرداد فرید

۱۳۸۷ /۱۱/ ۱۵

شهریور ماه ۱۳۸۷

۱۰۸۸۵۸

به نام خدا

دینامیک و کنترل یک سیستم روبات از راه دور دوسویه با تاخیر زمانی در کانال ارتباطی

توسط:

حماد کشاورزپور کومله

پایان نامه
ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی
از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته:

مهندسی مکانیک-گرایش طراحی کاربردی

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر محمد اقتصاد، دانشیار بخش مهندسی مکانیک (رئیس کمیته) .....

دکتر مهرداد فرید، استادیار بخش مهندسی مکانیک (رئیس کمیته) .....

دکتر مجتبی محزون، استادیار بخش مهندسی مکانیک .....

دکتر علیرضا خیاطیان، دانشیار بخش مهندسی برق .....

شهریور ماه ۱۳۸۷

تقدیم به مهربانترین و دلسوزترین همراهان زندگیم

پدر و مادرم

سپاس‌گزاری

حال که با عنایات پروردگار یکتا این رساله به اتمام رسیده است، لازم می‌دانم که مراتب امتنان و قدردانی خود را نسبت به زحمات بی‌دریغ و دلسوزانه استادان راهنمای عزیزم، آقایان دکتر مهرداد فرید و دکتر محمد اقتصاد ابراز نموده و نیز از حضور اساتید ارزشمند و برجسته، آقایان دکتر مجتبی محزون و دکتر علیرضا خیاطیان به عنوان اساتید مشاور، تشکر نمایم. در پایان از پدر و مادرم و همچنین تمام اعضای خانواده‌ام که در سرتاسر زندگی، مشوق و پشتیبان من بودند، تقدیر و تشکر می‌نمایم.

چکیده

دینامیک و کنترل یک سیستم روبات از راه دور دوسویه با تاخیر زمانی در کانال ارتباطی

توسط:

حماد کشاورزپور کومله

سیستم‌های عملیات از راه دور امروزی با دو مشکل مواجه هستند. مشکل اول دست‌یابی به شفافیت است که می‌توان آن را به صورت عملکرد ردگیری حرکتی/نیرویی معقول تفسیر نمود. مشکل دوم حضور تاخیر زمانی ثابت/متغیر در کانال‌های ارتباطی، که پایگاه‌های کارفرما و پیرو را به هم متصل می‌کنند، می‌باشد که ممکن است منجر به یک سیستم غیر منفعل و ناپایدار گشته، و نیز، تاثیر نامطلوبی بر عملکرد ردگیری خواهد داشت. مفهوم روبات کارفرمای مجازی به منظور شفاف ساختن سیستم کنترل روبات از راه دور پیشنهاد شده است، در حالی که، مشکل دوم به وسیله متصل ساختن پایگاه‌های کارفرما و پیرو به یکدیگر در فضای موجی قابل رفع شدن است. در نتیجه، در این پایان نامه، یک رویکرد طراحی کنترلر موجی جدید ارائه شده است، به طوری که، ارتباط موجی و مفهوم روبات کارفرمای مجازی به منظور حل کردن همزمان این مشکلات با هم ترکیب شده، در حالی که پایداری سیستم کلی تضمین شده است. در پایان، دو سیستم عملیات از راه دور دوسویه با روبات-های کارفرما و پیرو دو و سه درجه آزادی و تاخیر زمانی در کانال ارتباطی شبیه‌سازی شده و عملکرد کنترلر موجی طراحی شده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل۱- مقدمه	۱
۱-۱- پیشگفتار	۲
۱-۲- کلیات	۳
۱-۳- هدف تحقیق	۶
فصل ۲- مروری بر تحقیقات پیشین	۷
۲-۱- مقدمه	۸
۲-۲- سیستم‌ها و کنترلرهای مقدماتی	۸
۲-۳- تبادل دوطرفه اطلاعات	۹
۲-۴- مصالحه بین پایداری و کیفیت عملکرد	۱۰
۲-۵- گذار از کنترلرهای خطی به انواع غیرخطی	۱۰
۲-۶- مشکل تاخیر زمانی در کانال ارتباطی	۱۱
۲-۷- کنترل انفعال-مبنا، راهی برای غلبه بر ناپایداری ناشی از تاخیر	۱۲
۲-۸-رَویه روبات کارفرمای مجازی	۱۳
۲-۹- جمع‌بندی	۱۳
فصل ۳- عملیات از راه دور دوسویه	۱۵
۳-۱- مقدمه	۱۶

عنوان	صفحه
۳-۲- مدلسازی اپراتور انسانی و محیط کاری دوردست	۱۸
۳-۳- روابط حاکم بر روبات‌های کارفرما و پیرو	۱۹
۳-۴- شفافیت در کنترل روبات از راه دور	۲۱
۳-۵- عملیات از راه دور منفعل	۲۲
۳-۵-۱- تئوری انفعال	۲۲
۳-۵-۲- سیستم منفعل	۲۲
۳-۵-۳- اتصال سیستم‌ها	۲۳
۳-۵-۴- اجزاء دو-مجرایی	۲۵
۳-۶- سیستم عملگر از راه دور، زنجیره‌ای از اجزاء دو-مجرایی	۲۷
۳-۶-۱- اپراتور انسانی و محیط کاری دوردست به عنوان دو جزء منفعل	۲۸
۳-۶-۲- روبات‌های کارفرما و پیرو	۲۹
۳-۷- ارتباط با تاخیر زمانی	۳۰
۳-۷-۱- ناپایداری ناشی از تاخیر زمانی	۳۱
فصل ۴- متغیرهای موجی	۳۷
۴-۱- مقدمه	۳۸
۴-۲- تعریف	۳۹
۴-۳- ویژگی‌های متغیرهای موجی	۴۱
۴-۴- شرط انفعال	۴۳
۴-۵- فضای موجی و تاخیر زمانی	۴۴
۴-۶- ارتباط موجی	۴۶
۴-۶-۱- تعریف	۴۶
۴-۶-۲- انفعال در ارتباط موجی	۴۹
۴-۶-۳- مشخصات فنر-مانند	۵۰
۴-۶-۴- مشخصات اینرسی-مانند	۵۳
فصل ۵- روبات کارفرمای مجازی	۵۵
۵-۱- مقدمه	۵۶
۵-۲- روبات کارفرمای مجازی	۵۷

عنوان	صفحه
۵-۳- طراحی کنترلر بر اساس مفهوم روبات کارفرمای مجازی و عملکرد آن	۵۸
۵-۴- کنترل تطبیقی	۶۰
فصل ۶- کنترلر موجی و روبات‌های کارفرمای مجازی موجی	۶۵
۶-۱- مقدمه	۶۶
۶-۲- انتگرال موجی	۶۷
۶-۳- کنترلر موجی و روبات‌های کارفرمای مجازی موجی	۶۸
۶-۴- تحلیل پایداری	۷۲
۶-۵- کنترلر تطبیقی موجی	۷۴
فصل ۷- شبیه‌سازی	۸۰
۷-۱- مقدمه	۸۱
۷-۲- روبات‌های کارفرما و پیرو	۸۱
۷-۳- کنترلر موجی عادی	۸۳
۷-۳-۱- عدم وجود انحراف اولیه و مانع	۸۴
۷-۳-۲- وجود انحراف اولیه و بدون مانع	۸۸
۷-۳-۳- وجود انحراف اولیه به همراه مانع	۹۳
۷-۴- کنترلر موجی عادی اصلاح شده	۹۸
۷-۴-۱- استخراج اطلاعات موقعیت/سرعت از انتگرال/متغیرهای موجی و اصلاح کنترلر موجی توسط آن	۹۹
۷-۴-۲- نتایج حاصل از اصلاح کنترلر موجی بدون تاخیر زمانی	۱۰۰
۷-۴-۳- کنترلر موجی اصلاح شده و تاخیر زمانی	۱۰۷
۷-۵- کنترلر تطبیقی موجی	۱۱۵
فصل ۸- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات	۱۲۵
۸-۱- نتیجه‌گیری	۱۲۶
۸-۲- پیشنهاد	۱۲۸
فصل ۹- منابع	۱۳۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۷-۱- مشخصات سینماتیکی و دینامیکی روبات‌های دو درجه آزادی به کار رفته در مدل A ۸۲
جدول ۷-۲- مشخصات سینماتیکی و دینامیکی روبات‌های سه درجه آزادی به کار رفته در مدل B ۸۲

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- عملیات از راه دور ۴

شکل ۳-۱- عملگر از راه دور دوسویه با تأخیر زمانی در کانال ارتباطی ۱۷

شکل ۳-۲- آرایش اتصال پسخوردی (بالا) و آرایش اتصال موازی (پایین) دو المان ۲۴

شکل ۳-۳- تسلسلی از المان های دو-مجرایی در حالی که جهت اصلی توان از سمت چپ به راست در نظر گرفته شده است. ۲۶

شکل ۳-۴- یک سیستم عملیات از راه دور را می‌توان به صورت سلسله ای از اجزاء دو-مجرایی، متصل کننده اپراتور انسانی به محیط کاری دوردست، در نظر گرفت. ۲۸

شکل ۳-۵- کانال ارتباطی استاندارد ۳۰

شکل ۳-۶- رفتار یک سیستم عملیات از راه دور استاندارد با تاخیر زمانی T=0.1 sec [۴۹]. ۳۵

شکل ۳-۷- رفتار یک سیستم عملیات از راه دور استاندارد با تاخیر زمانی T=1 sec [۴۹]. ۳۶

شکل ۴-۱- تبدیل موجی یک فرمان سرعت $\dot{X}$ را به موج پیشرو **u** تبدیل و یک سیگنال پسخورد نیرو F را از موج برگشتی **v** می سازد. خط موجدار سمت راست شکل نیز نشان دهنده درگاه متغیر موجی است. ۴۰

شکل ۴-۲- انفعال اجزاء چه در فضای متغیرهای توانی و چه در فضای متناظر موجی، قابل بررسی است. ۴۳

شکل ۴-۳- یک ارتباط موج-مبنا اطلاعات را قبل از انتقال به سوی دیگر، به متغیرهای موجی نگاشت می‌کند. ۴۶

شکل ۴-۴- انعطاف‌پذیری در انتخاب ورودی‌ها و خروجی‌ها در یک ارتباط موجی ۴۸

شکل ۴-۵- کانال ارتباطی در فضای موجی به مانند یک جزء فنر-مانند ۵۰

عنوان	صفحه
شکل ۴-۶- کانال ارتباطی در فضای موجی همانند یک جزء اینرسی مانند	۵۳
شکل ۵-۱- نمایش بلوکی کل سیستم با روبات کارفرمای مجازی طراحی شده	۵۷
شکل ۵-۲- نتایج به دست آمده از کنترلر طراحی شده بر اساس مفهوم کارفرمای مجازی ارائه شده در [۴۷].	۶۴
شکل ۶-۱- نمای کلی سیستم عملیات از راه دور دوسویه با ارتباط موجی و کنترلر موجی طراحی شده بر اساس رَویه روبات کارفرمای مجازی	۷۹
شکل ۷-۱- نمای کلی مدل ساخته شده در محیط نرم افزار Simulink	۸۲
شکل ۷-۲- روبات‌های کارفرما و پیرو در مدل A	۸۳
شکل ۷-۳- روبات‌های کارفرما و پیرو در مدل B	۸۳
شکل ۷-۴ (الف)- مسیر فضایی مورد نظر اپراتور در مدل A (ب)- تصویر این مسیر در صفحه X-Y	۸۴
شکل ۷-۵- مولفه های مختصات کارتزین مسیر مورد نظر اپراتور در مدل A	۸۵
شکل ۷-۶- مسیرهای طی شده توسط کارفرما و پیرو در مقایسه با مسیر مورد نظر اپراتور	۸۶
شکل ۷-۷- مولفه‌های خطای موقعیت بین کارفرما و پیرو	۸۶
شکل ۷-۸- حالت‌های خطای e و s با گذشت زمان به سمت صفر میل می‌کنند	۸۶
شکل ۷-۹- متغیرها و انتگرال‌های موجی کارفرما و پیرو	۸۷
شکل ۷-۱۰- موج‌های کنترلی محاسبه شده در کنترلر موجی	۸۸
شکل ۷-۱۱- نیروی کنترلی روبات کارفرما (چپ) و نیروی کنترلی روبات پیرو (راست)	۸۸
شکل ۷-۱۲- مسیر طی شده به وسیله کارفرما و پیرو در حالت ۱ با انحراف اولیه و بدون مانع	۸۹
شکل ۷-۱۳- مسیر طی شده کارفرما و پیرو در فضای کاری متناظر (چپ) و تصویر آنها در صفحه X-Y (راست) در حالت ۱ با انحراف اولیه و بدون مانع	۹۰
شکل ۷-۱۴- مولفه‌های خطای موقعیت بین کارفرما و پیرو در حالت ۱ با انحراف اولیه و بدون مانع	۹۰
شکل ۷-۱۵- متغیرهای حالت خطای موجی e و s در حالت ۱ با انحراف اولیه و بدون مانع	۹۱
شکل ۷-۱۶- مسیر طی شده کارفرما و پیرو در حالت ۲ با انحراف اولیه و بدون مانع	۹۱

عنوان	صفحه
شکل ۷-۱۷- مولفه‌های خطای موقعیت بین کارفرما و پیرو در حالت ۲ با انحراف اولیه و بدون مانع	۹۲
شکل ۷-۱۸- متغیرهای حالت خطای موجی e و s در حالت ۲ با انحراف اولیه و بدون مانع	۹۲
شکل ۷-۱۹- مسیرهای پیموده شده توسط کارفرما و پیرو در حالت ۳ با انحراف اولیه و بدون مانع	۹۳
شکل ۷-۲۰- مولفه‌های خطای موقعیت بین کارفرما و پیرو در حالت ۳ با انحراف اولیه و بدون مانع	۹۴
شکل ۷-۲۱- متغیرهای حالت خطای موجی e و s در حالت ۳ با انحراف اولیه و بدون مانع	۹۴
شکل ۷-۲۲- مسیر پیموده شده توسط کارفرما و پیرو در حالت وجود انحراف اولیه و حضور مانع. دیوار مانع ادامه حرکت پیرو شده است	۹۵
شکل ۷-۲۳- مولفه‌های خطای موقعیت بین کارفرما و پیرو در حالت وجود انحراف اولیه و حضور مانع	۹۵
شکل ۷-۲۴- مسیر طی شده کارفرما و پیرو در فضای کاری متناظر خود (چپ) و تصویر آنها در صفحه X-Y (راست) در حالت وجود انحراف اولیه و حضور مانع	۹۶
شکل ۷-۲۵- حالت‌های خطای موجی e و s در حالت وجود انحراف اولیه و حضور مانع	۹۶
شکل ۷-۲۶- متغیرها و انتگرال های موجی کارفرما و پیرو در حالت وجود انحراف اولیه و حضور مانع	۹۷
شکل ۷-۲۷- فرمان‌های کنترلی موجی محاسبه شده توسط کنترلرهای موجی در حالت وجود انحراف اولیه و حضور مانع	۹۸
شکل ۷-۲۸- نیروهای کنترلی به دست آمده از فرمان‌های کنترلی موجی در حالت وجود انحراف اولیه و حضور مانع	۹۸
شکل ۷-۲۹- مولفه‌های مسیر طی شده توسط کارفرما و پیرو در حالت ۱ کنترلر اصلاح شده با انحراف اولیه و حضور مانع	۱۰۱
شکل ۷-۳۰- مولفه‌های خطای موقعیت بین کارفرما و پیرو در حالت ۱ کنترلر اصلاح شده با انحراف اولیه و حضور مانع	۱۰۱

عنوان	صفحه
شکل ۷-۳۱- مسیر طی شده کارفرما و پیرو در فضای کاری متناظر خود (چپ) و تصویر آنها در صفحه X-Y (راست) در حالت ۱ کنترلر اصلاح شده با انحراف اولیه و حضور مانع	۱۰۲
شکل ۷-۳۲- حالت‌های خطای موجی e و s در حالت ۱ کنترلر اصلاح شده با انحراف اولیه و حضور مانع	۱۰۲
شکل ۷-۳۳- متغیرها و انتگرال‌های موجی متناظر هر یک از پایگاه‌های کارفرما و پیرو در حالت ۱ کنترلر اصلاح شده با انحراف اولیه و حضور مانع	۱۰۳
شکل ۷-۳۴- فرمان‌های موجی محاسبه شده در کنترلرها در حالت ۱ کنترلر اصلاح شده با انحراف اولیه و حضور مانع	۱۰۳
شکل ۷-۳۵- نیروهای کنترلی محاسبه شده از فرمان‌های موجی در حالت ۱ کنترلر اصلاح شده با انحراف اولیه و حضور مانع	۱۰۴
شکل ۷-۳۶- نیروی اپراتور در حالت ۱ کنترلر اصلاح شده با انحراف اولیه و حضور مانع	۱۰۴
شکل ۷-۳۷- مولفه‌های مسیر طی شده توسط کارفرما و پیرو در حالت ۲ کنترلر اصلاح شده با انحراف اولیه و حضور مانع	۱۰۵
شکل ۷-۳۸- مولفه‌های خطای موقعیت بین کارفرما و پیرو در حالت ۲ کنترلر اصلاح شده با انحراف اولیه و حضور مانع	۱۰۵
شکل ۷-۳۹- حالت‌های خطای موجی e و s در حالت ۲ کنترلر اصلاح شده با انحراف اولیه و حضور مانع	۱۰۶
شکل ۷-۴۰- مولفه‌های نیروهای کنترلی روبات‌های کارفرما و پیرو در حالت ۲ کنترلر اصلاح شده با انحراف اولیه و حضور مانع	۱۰۶
شکل ۷-۴۱- نیروی اپراتور در حالت ۲ کنترلر اصلاح شده با انحراف اولیه و حضور مانع	۱۰۶
شکل ۷-۴۲- مسیر طی شده توسط کارفرما و پیرو در حالت ۱ کنترلر اصلاح شده با تاخیر زمانی	۱۰۷
شکل ۷-۴۳- مولفه‌های خطای موقعیت در حالت ۱ کنترلر اصلاح شده با تاخیر زمانی	۱۰۸
شکل ۷-۴۴- حالت‌های خطای موجی e و s در حالت ۱ کنترلر اصلاح شده با تاخیر زمانی	۱۰۸

عنوان **صفحه**

شکل ۷-۴۵- فرمان‌های موجی کنترلی در حالت ۱ کنترلر اصلاح شده با تاخیر زمانی ۱۰۹

شکل ۷-۴۶- نیروهای کنترلی کارفرما و پیرو در حالت ۱ کنترلر اصلاح شده با تاخیر زمانی ۱۰۹

شکل ۷-۴۷- مسیر طی شده توسط کارفرما و پیرو در حالت ۲ کنترلر اصلاح شده با تاخیر زمانی ۱۱۰

شکل ۷-۴۸- نوسانات ناشی از اختلاف موقعیت اولیه در حالت ۲ کنترلر اصلاح شده با تاخیر زمانی ۱۱۰

شکل ۷-۴۹- مولفه‌های خطای موقعیت در حالت ۲ کنترلر اصلاح شده با تاخیر زمانی ۱۱۱

شکل ۷-۵۰- مسیر طی شده توسط کارفرما و پیرو در حالت ۳ کنترلر اصلاح شده با تاخیر زمانی ۱۱۱

شکل ۷-۵۱- نوسانات کارفرما و پیرو ناشی از اختلاف موقعیت اولیه (چپ) و برخورد پیرو با دیوار (راست) در حالت ۳ کنترلر اصلاح شده با تاخیر زمانی ۱۱۲

شکل ۷-۵۲- مسیر فضایی طی شده توسط کارفرما و پیرو در حالت ۳ کنترلر اصلاح شده با تاخیر زمانی ۱۱۲

شکل ۷-۵۳- مولفه‌های خطای موقعیت در حالت ۳ کنترلر اصلاح شده با تاخیر زمانی ۱۱۳

شکل ۷-۵۴- حالت‌های خطای موجی e و s در حالت ۳ کنترلر اصلاح شده با تاخیر زمانی ۱۱۳

شکل ۷-۵۵- فرمان‌های موجی کنترلی در حالت ۳ کنترلر اصلاح شده با تاخیر زمانی ۱۱۴

شکل ۷-۵۶- نیروهای کنترلی کارفرما و پیرو در حالت ۳ کنترلر اصلاح شده با تاخیر زمانی ۱۱۴

شکل ۷-۵۷- تاثیر کاهش پارامترهای k_p^* و k_d^* در رفع نوسانات ۱۱۴

شکل ۷-۵۸- حالت‌های خطای موجی e و s پس از کاهش پارامترهای k_p^* و k_d^* ۱۱۵

شکل ۷-۵۹- مسیر فضایی مورد نظر اپراتور برای مدل B ۱۱۶

شکل ۷-۶۰- مولفه‌های کارتزین مسیر مورد نظر اپراتور در مدل B ۱۱۶

شکل ۷-۶۱- مسیر فضایی پیموده شده توسط کارفرما و پیرو در حالت ۱ کنترلر تطبیقی موجی ۱۱۷

عنوان	صفحه
شکل ۷-۶۲- مولفه‌های مسیر طی شده توسط کارفرما و پیرو در حالت ۱ کنترلر تطبیقی موجی	۱۱۷
شکل ۷-۶۳- مولفه‌های خطای موقعیت در حالت ۱ کنترلر تطبیقی موجی	۱۱۸
شکل ۷-۶۴- حالت‌های خطای موجی در حالت ۱ کنترلر تطبیقی موجی	۱۱۸
شکل ۷-۶۵- متغیرها و انتگرال‌های موجی کارفرما و پیرو در حالت ۱ کنترلر تطبیقی موجی	۱۱۹
شکل ۷-۶۶- فرمان‌های کنترلی موجی در حالت ۱ کنترلر تطبیقی موجی	۱۱۹
شکل ۷-۶۷- نیروهای کنترلی کارفرما و پیرو در حالت ۱ کنترلر تطبیقی موجی	۱۲۰
شکل ۷-۶۸- مولفه‌های مسیر طی شده توسط کارفرما و پیرو در حالت ۱ کنترلر تطبیقی موجی و با افزایش مقدار ترم اصلاحی	۱۲۰
شکل ۷-۶۹- مولفه‌های خطای موقعیت در حالت ۱ کنترلر تطبیقی موجی و با افزایش مقدار ترم اصلاحی	۱۲۱
شکل ۷-۷۰- مولفه‌های مسیر طی شده توسط کارفرما و پیرو در حالت ۲ کنترلر تطبیقی موجی	۱۲۲
شکل ۷-۷۱- مولفه‌های خطای موقعیت در حالت ۲ کنترلر تطبیقی موجی	۱۲۲
شکل ۷-۷۲- حالت‌های خطای موجی در حالت ۲ کنترلر تطبیقی موجی	۱۲۲
شکل ۷-۷۳- مولفه‌های مسیر طی شده توسط کارفرما و پیرو در حالت ۳ کنترلر تطبیقی موجی	۱۲۳
شکل ۷-۷۴- مولفه‌های خطای موقعیت در حالت ۳ کنترلر تطبیقی موجی	۱۲۳
شکل ۷-۷۵- حالت‌های خطای موجی در حالت ۳ کنترلر تطبیقی موجی	۱۲۴

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

پیشرفت چشمگیر و سریع علوم و تکنولوژی در قرن گذشته و همراه شدن آن با انقلاب‌های صنعتی در دنیا باعث آن شده است تا انسان به منظور دست‌یابی به تولید بیشتر، افزایش دقت، کاهش ضایعات با منشا انسانی، کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری و ... هر چه بیشتر سعی در خودکار نمودن وظائف خود کند. فعالیت‌ها و اقدامات بسیاری، به طور ذاتی، دارای ماهیتی تکرارشونده و قابل پیش‌بینی هستند و مناسب‌ترین بستر را جهت تبدیل شدن به فرآیندهایی خودکار و بدون دخالت بشر فراهم می‌آورند. ماشین‌آلات صنعتی و روبات‌ها نقش انکارناپذیری در این عرصه ایفا می‌کنند. این در حالی است که در بسیاری از حیطه‌ها، روبات‌ها و ماشین‌های خودکار جایی نداشته و نیروی انسانی نقش اصلی را بر عهده دارد. در چنین فعالیت‌هایی در هر لحظه از زمان به هوش، تدبیر و قوه تصمیم‌گیری بشری نیاز وجود داشته و امکان سپردن مسئولیت به ماشین‌هایی از پیش برنامه ریزی شده و حتی دارای هوش مصنوعی وجود ندارد.

علاوه بر موارد فوق، نوعی دیگر از ارتباط متقابل بین انسان و ماشین وجود دارد. در این ارتباط، انسان و ماشین هر دو حضور داشته و با هم به انجام کار می‌پردازند. در بسیاری از فرآیندها به دلیل پیچیدگی، تغییرات محیط کاری، عدم اطلاعات کافی و ... امکان پیش‌بینی کامل و در نظر گرفتن تمامی جوانب و در نتیجه، برنامه‌ریزی دقیق روبات یا ماشین وجود نداشته و نمی‌توان آن فرآیند را به طور کامل به ماشین‌های از پیش برنامه‌ریزی شده محول نمود. حتی در صورت امکان پذیر بودن این امر، خودکار نمودن چنین فرآیندهایی بسیار پر هزینه خواهد بود. بنابراین، حضور، برنامه‌ریزی، نظارت و کنترل انسانی در بهره‌گیری از ماشین گریزناپذیر به نظر می‌رسد.

به علاوه، بسیاری از محیط‌های کاری وجود دارند که برای بقا و سلامتی بشر زیان‌آور و پر خطر بوده و مسلماً امکان حضور مستقیم او در این محیط‌ها وجود ندارد. فضای خارج از جو،

اعماق اقیانوس‌ها، محیط‌های آلوده به مواد و ضایعات هسته‌ای، میکروبی و شیمیایی، معادن، فضاهای ساختمانی و عملیات‌های پلیسی و نظامی را می‌توان به عنوان نمونه‌هایی از این محیط‌ها ذکر نمود. در این گونه فعالیت‌ها و محیط‌ها، به ناگزیر، از ماشین‌ها و روبات‌هایی استفاده می‌شود که اقدامات و تحرکات آنها توسط یک متصدی که خارج از محیط کاری حضور دارد، نظارت، کنترل و فرماندهی می‌گردد.

در اصطلاح، به فعالیتی که در آن کاری معین، در مکانی مشخص، به وسیله ماشینی انجام می‌پذیرد که توسط یک اپراتور که در مکانی دیگر حضور دارد، فرماندهی می‌گردد، *عملیات از راه دور*[1] گویند.

پیشوند «تِله[2]» یک واژه یونانی و به معنای « از فاصله دور» است. عملیات از راه دور، قابلیت احساس کردن و کار کردن بشر را به مکانی دیگر غیر از جایی که خود او حضور دارد، بسط و گسترش داده و اشاره بر انجام عملی از فاصله دور دارد. بدین ترتیب، قابلیت انسان در کار با اشیاء و محیط را به وسیله فراهم کردن شرایطی برای اپراتور، مشابه با شرایط حاکم در محیط کاری، انتقال می‌دهد.

به عبارت دیگر، سیستم‌های عملیات از راه دور هوش، ذکاوت، تدبیر و مهارت‌های بشری را با دقت و قابلیت تکرار روبات‌ها آمیخته و امکان انجام کارهای پر خطر و ظریف در مکان‌ها و محیط‌های دوردست یا مخاطره آمیز را با امنیت بیشتر، هزینه کمتر و حتی دقت بهتر فراهم می‌کنند.

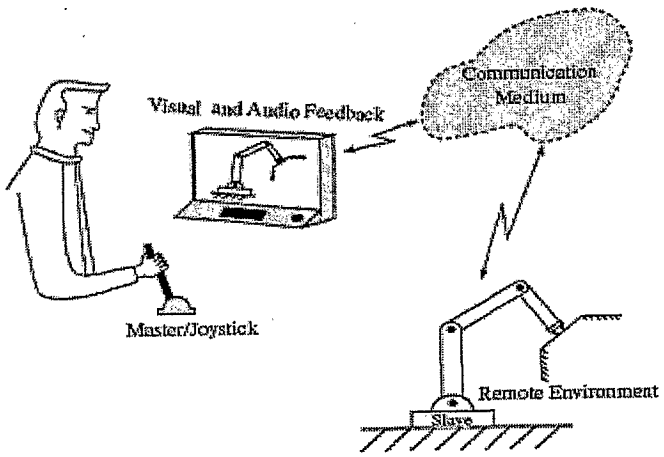
۱-۲- کلیات

یک *عملگر از راه دور*[3] معمولاً شامل بازوهای مکانیکی، حسگرها، کنترلرها و یک یا چند کانال ارتباطی است. به مجموعه بازوها یا *دسته‌فرمان*[4]ها و حسگرهای نصب شده در محل اپراتور و محل فاصله‌داری که عملیات هدف در آنجا انجام می‌پذیرد، به ترتیب *پایگاه کارفرما*[5] و *پایگاه پیرو*[6] اطلاق می‌شود. به طور خاص، به بازوهای نصب شده در این پایگاه‌ها نیز به ترتیب، روبات کارفرما و روبات پیرو گویند. به بیانی دیگر، سیستم عملگر از راه دور یک سیستم الکترو-مکانیکی تشکیل شده از روبات‌های کارفرما و پیرو است که از طریق یک کانال ارتباطی و کنترل کننده‌های متناظر، با هم در ارتباط هستند.

---

[1] Teleoperation
[2] Tele
[3] Teleoperator
[4] Joystick
[5] Master Site
[6] Slave Site

به طور کلی، اپراتور به بازوی مکانیکی، دسته‌فرمان یا روبات کارفرما نیرو وارد کرده تا بدین وسیله حرکت مورد نظر وی ایجاد گردد. اطلاعات این حرکت بر طبق نیاز (شامل موقعیت، سرعت و ...) توسط حسگرها اندازه‌گیری شده و از طریق خط ارتباطی مابین پایگاه‌ها به مکان روبات پیرو و محیط کاری دوردست فرستاده می‌شود. این اطلاعات وارد واحد کنترل کننده روبات پیرو شده و پیرو، این فرمان حرکتی رسیده از پایگاه کارفرما را اجرا کرده و در دنبال نمودن حرکت فرمان داده شده اپراتور تلاش می‌کند. انواع دیگری از فرمان‌های ورودی قابل فرض و اجرا هستند که فرمان صوتی، ورودی صفحه کلید و موشواره از آن جمله هستند.



شکل ۱-۱- عملیات از راه دور

به منظور به دست آوردن عملکرد منطقی و مناسب در بسیاری از سیستم‌های عملیات از راه دور، اپراتور به پسخورد اطلاعاتی از محیط و فضای کاری دوردست نیاز خواهد داشت. این پسخورد می‌تواند به روش‌های گوناگونی از قبیل صوتی، تصویری، لمسی یا نیرویی ارائه شود. در بسیاری از کاربردها، سیستم‌های عملگر از راه دور سیستم‌هایی *تک‌سویه*[7] هستند و به عبارتی، در حین انجام عملیات هیچ گونه پسخورد *نیرویی*[8] از روبات پیرو و از طریق کانال ارتباطی به پایگاه کارفرما و در نتیجه اپراتور فرستاده نمی‌شود.

اگر پایگاه پیرو دارای حسگرهای نیرو باشد، امکان آن وجود دارد که نیروهای عکس‌العملی، ناشی از تقابل روبات پیرو و محیط، اندازه‌گیری شده و به شکل مناسب به سمت پایگاه کارفرما و اپراتور برگردانده شوند. بدین ترتیب، عملیات از راه دور *دوسویه*[9] خواهد بود. در حقیقت، این

[7] Unilateral
[8] Force Feedback
[9] Bilateral