١٤٠٥٤

٩٩٠١٥

دانشگاه تربیت مدرّس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق–کنترل

طراحي كنترلگر سيستمهاي عمليات از راه دور با فيدبک نيرو در شرايط نامشخص

محمد رضا تجلي

استاد راهنما:

آقاي دكتر حميد رضا مومني

استاد مشاور:

آقای دکتر وحید مجد

۱۳۸۷ /۵/ ۲۲

بهمن ۱۳۸۶

۹۹۰۱۵

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته است که در سال در دانشکده دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب محمدرضا تجلی دانشجوی رشته مهندسی برق-کنترل مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: محمدرضا تجلی

تاریخ و امضا: ۱۳۸۷/۲/۳

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان

آقای محمدرضا تجلی پایان نامه ٦ واحدی خود را با عنوان طراحی کنترلر سیستمهای عملیات از راه دور با فیدبك نیرو در شرایط نامشخص در تاریخ ۱۳۸٦/۱۱/۱۵ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی برق - کنترل پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر حمیدرضا مومنی	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر وحید جوهری مجد	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمدتقی حمیدی بهشتی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر سهیل گنجه فر	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمدتقی حمیدی بهشتی	استادیار	

۹۹۰۱۸

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸٤/٤/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی

امضاء

محمدرضا تجلی

۸۶/۱۲/۱۵

تقدیم

به همسر مهربانم.....

تشکر و قدردانی

با تشکر از جناب آقایِ دکتر مومنِی که با راهنماییهایِ به جایِ خویش اینجانب را در به انجام رساندن این پایان نامه یاریِ دادند.

چکیده

با پیشرفتهای روزافزون در زمینه رباتیک، نیاز به سیستمهایی با قابلیت تماس با محیطهای مختلف و غیر قابل پیش بینی بیشتر احساس می‌شود که لازمه کار در چنین شرایطی حساسیت و توجه بیشتر در انتخاب مدل، طراحی کنترلگر مناسب و سنسورها می‌باشد.

در بسیاری از کارهای انجام شده تا کنون، تاکید روی کار در فضای آزاد یا تماس با یک نوع خاص محیط از نظر نرمی‌یا سختی بوده، اما در اینجا هدف طراحی کنترلگری با قابلیت کار در تمام این شرایط بوده است.

برای این کار از کنترل نیروی محلی در سمت فرمانبر استفاده شده که یک مشاهده گرکالمن به همراه یک فیدبک حالت را به کار می‌گیرد. همچنین به جای استفاده از فیدبک مستقیم نیرو در سمت فرمانده یک نیروی مجازی برابر ضریبی از اختلاف موقعیتهای دو ربات، به ربات فرمانده فیدبک می‌شود. جهت ایجاد قابلیت کار ربات در محیطهای مختلف و ناشناخته، روش حداقل مربعات بازگشتی اصلاح شده به عنوان روشی جدید جهت شناسایی محیط مورد تماس مورد استفاده قرار گرفته است.

کلید واژه: مشاهده گر کالمن، حس حضور در محیط، شناسایی محیط، فیدبک نیرو ، پایداری.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... د
فهرست جدول‌ها ..... ه
فهرست شکلها ..... و

فصل ۱- تعریف و تاریخچه ۱
۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- تعریف ۱
۱-۳- کاربردهای کنترل دوسویه ۴
۱-۳-۱- حمل مواد خطرناک ۴
۱-۳-۲- کاربرد در پزشکی ۴
۱-۳-۳- جراحیهایی با کمترین آسیبهای جانبی ۵
۱-۳-۴- جراحی از راه دور ۶
۱-۳-۵- رباتهای زیر آب ۷
۱-۳-۶- رباتهای فضایی ۸
۱-۳-۷- رباتهای گروهی متحرک ۸
۱-۳-۸- انجام کارهای بسیار ظریف و اسمبل کردن ۹
۱-۳-۹- دیگر کاربردهای مهم ۹

فصل ۲- معماری کنترل دوسویه ۱۰
۲-۱- معماری کنترل دوسویه عمومی ۱۰
۲-۲- معماریهای کنترل دوطرفه دو کاناله ۱۲
۲-۲-۱- ساختار موقعیت - نیرو (فیدبک مستقیم نیرو) ۱۲
۲-۲-۲- ساختار موقعیت- موقعیت ۱۳
۲-۲-۳- معماری خطای موقعیت بر اساس ساختار موقعیت- نیرو ۱۴
۲-۲-۴- ساختار نیرو - نیرو ۱۵
۲-۲-۵- ساختار نیرو- موقعیت ۱۵
۲-۳- معماریهای کنترل دوطرفه چهار کاناله ۱۵

فصل ۳- طراحی کنترلگر سیستم عملیات از راه دور دوطرفه به روش کنترل مقاوم با قید پایداری و وجود نامعینی در امپدانس محیط در محیطهای نرم ۱۶
۳-۱- مدل مورد استفاده و روابط ریاضی ۱۷
۳-۲- پایداری ۱۷
۳-۲-۱- قضیه پایداری: ۱۸

۳-۳- شناسایی امپدانس محیط ۱۸
۳-۴- یک مثال ۱۹
۳-۴-۱- شبیه سازی برای تعیین مرز پایداری: ۲۰
۳-۵- توضیحات بیشتر درباره پارامترهای هیبرید: ۲۳

فصل ۴- طراحی سیستم کنترل به روش مشاهده گر فعال بااستفاده از روش شناسایی RLS اصلاح شده جهت محیطهای نا مشخص ۲۵

۴-۱- کنترل نیروی تماسی: ۲۶
۴-۱-۱- مشاهده‌گر فعال ۲۸
۴-۲- معادلات رباتها و روابط ریاضی: ۲۹
۴-۲-۱- مفهوم فضای عملی و معادلات دینامیکی یک بازوی ربات در این فضا: ۳۰
۱. فضای مفاصل ربات: ۳۰
۲. فضای عملی: ۳۰
۴-۳- روش خطی سازی با فیدبک: ۳۲
۴-۴- انتخاب مدل فنرجهت محیط مورد تماس: ۳۴
۴-۵- طراحی کنترلگر نیرو: ۳۵
۴-۵-۱- گسسته سازی سیستم: ۳۵
۴-۵-۲- طراحی مشاهده‌گر فعال ۳۸
۴-۵-۳- توضیحی درباره ماتریسهای خطا: ۴۲
۴-۵-۴- جایابی قطب توسط فیدبک حالت ۴۲
۴-۶- عملیات از راه دور : ۴۳
۴-۷- ملاحظات مورد نظر در طراحی ۴۶
۴-۷-۱- احساس حضور در محیط: ۴۶
۴-۷-۲- پایداری ۴۷
۴-۸- تطبیق بهره های کنترلی با تغییرات سختی محیط: ۴۹
۴-۹- روش جدید تخمین امپدانس محیط با استفاده از RLS اصلاح شده ۵۰
۴-۹-۱- الگوریتم شناسایی RLS ۵۱
۴-۹-۲- اصلاح در الگوریتم RLS ۵۲
۴-۹-۳- بررسی الگوریتم شناسایی در شرایط تغییر پارامتر ۵۳
۴-۱۰- بررسی تاثیرتاخیر زمانی ۵۴
۴-۱۱- نتایج شبیه سازی ۵۵
۴-۱۱-۱- نتایج شبیه سازی برای کنترلگر نیرو در سمت فرمانبر ۵۶
۴-۱۱-۲- نتایج شبیه سازی سیستم فرمانده – فرمانبر در محیط ثابت ۶۰
۴-۱۱-۳- نتایج شبیه سازی سیستم فرمانده – فرمانبر در محیط متغیر با استفاده از روش جدید شناسایی RLS اصلاح شده ۶۳
۴-۱۱-۴- مقایسه روش شناسایی RLS اصلاح شده و روش تجربی ۶۶

فصل ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات ۶۸

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
امپدانس محیط	Z_e
امپدانس اپراتور	Z_h

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول ۲-۱- پارامترهای مورد استفاده در زیر سیستمها در معماری کنترل راه دور عمومی‌مربوط به شکل قبل..... ۱۱
جدول ۲-۲- جدول ضرائب مربوط به ساختار موقعیت - نیرو..... ۱۲
جدول ۲-۳- جدول متغیرها جهت ساختار موقعیت - موقعیت..... ۱۴
جدول ۴-۱- مقادیر پارامترهای سیستم مورد استفاده در شبیه سازی..... ۵۵

فهرست شکلها

عنوان صفحه

شکل ۱-۱- اولین سیستم فرمانده- فرمانبر توسط ری گورتز ۲
شکل ۱-۲- نمای مکانیکی سیستم کنترل دوطرفه ۳
شکل ۱-۳- سیستم فرمانده فرمانبر ۴
شکل ۱-۴- ربات جراحی داوینچی ۵
شکل ۱-۵- قسمت انتهایی ربات داوینچی با ۷ درجه آزادی با دقت بالا ۵
شکل ۱-۶- ساختار کلی یک سیستم جراحی از راه دور ۶
شکل ۱-۷- یک فرمانده با فیدبک نیرو با نام روتگرز ۷
شکل ۱-۸- دستکش با فیدبک هپتیک با نام سایبر کرسپ ۷
شکل ۱-۹- رباتهای زیر آبی ۸
شکل ۱-۱۰- نمایی از یک ربات فضایی جهت کمک به فضانوردان ۸
شکل ۱-۱۱-نمایش کنترل چندین ربات توسط یک ربات فرمانده با استفاده از کنترل دوسویه ۹
شکل ۲-۱- بلوک دیاگرام سیستم کنترل دوطرفه، به همراه نمایش کلیه بلوکهای دینامیک زیر سیستمها [۷] اصلاح شده در][..... ۱۰
شکل ۲-۲- ساختار فیدبک نیروی مستقیم در معماری عمومی ۱۲
شکل ۲-۳-ساختار فیدبک نیروی مستقیم ۱۳
شکل ۲-۴- ساختار موقعیت-موقعیت برای کنترل دوطرفه ۱۳
شکل ۲-۵- ساختار موقعیت- موقعیت برای کنترل دوطرفه ۱۴
شکل ۲-۶- معماری خطای موقعیت بر اساس ساختار موقعیت نیرو ۱۴
شکل ۲-۷- ساختار خطای موقعیت بر اساس ساختار موقعیت- نیرو ۱۵
شکل ۳-۱- مدل دو قطبی ورودی-خروجی به همراه پارامترهای هیبرید سیستم عملیات از راه دور ۱۷
شکل ۳-۲-سیستم حلقه بسته با نایقینی ضرب شونده ۱۷
شکل ۳-۳- معماری موقعیت- نیرو ۱۹
شکل ۳-۴- شبیه سازی محیط نرم در نرم افزار MATLAB ۲۱
شکل ۳-۵ - شناسایی سختی محیط بر اساس تکرار الگوریتم ۲۱
شکل ۳-۶- نمودارهای بد دامنه مربوط به نایقینی $W\Delta$ با تغییر پارامترها جهت تعیین مرز پایداری ۲۲
شکل ۳-۷- تغییرات g بر اساس تغییرات bm ۲۲
شکل ۳-۸- معیار قابلیت اطمینان بر اساس تغییرات پارامتر bm ۲۳
شکل ۳-۹- فیدبک نیرو بر اساس ضریبی از خطای موقعیت ۲۳
شکل ۳-۱۰- فیدبک نیرو بر اساس ضریبی از نیروی تماسی ۲۳
شکل ۴-۱- سیستم عملیات از راه دور . کاربر توسط ربات فرمانده ، ربات فرمانبر را کنترل می‌کند. ۲۶

شکل ۴-۲- ساختار محل برخورد در نوک ربات فرمانبر..... ۲۷
شکل ۴-۳- مدلسازی محیط مورد تماس به صورت یک فنر ۳۴
شکل ۴-۴- اصلاحات انجام گرفته توسط فیدبک. X_i نمایش فرمان موقعیت و X_o موقعیت خروجی..... ۳۶
شکل ۴-۵- مشاهده گر کالمن- $\hat{p}_k$ برای جبرانسازی خطای $e_{r,k}$ بوده و L_r بهره فیدبک حالت میباشد. ۳۹
شکل ۴-۶- کنترل ربات در حالت تماس با محیط با یک مشاهده گر فعال ۴۱
شکل ۴-۷-سیستم عملیات از راه دور به وسیله فنر مجازی و کنترل نیرو. ۴۴
شکل ۴-۸- نمای سیستم عملیات از راه دور ۴۴
شکل ۴-۹- بلوک دیاگرام سیستم عملیات از راه دور. در این شکل ضرایب مقیاس نیرو و موقعیت مشخص نشده‌اند. ۴۶
شکل ۴-۱۰ - نمودار مکان ریشه سیستم حلقه بسته با در نظر گرفتن تاخیر فرمان و تغییر k_{vir} در سختی محیط برابر ۱۰۰۰..... ۴۸
شکل ۴-۱۱- به روز کردن K_{vir} بر اساس تخمینK_s..... ۵۰
شکل ۴-۱۲- شبیه سازی محیط در نرم افزار *MATLAB* ۵۱
شکل ۴-۱۳- شبیه سازی محیط متغیر در نرم افزار *MATLAB*..... ۵۳
شکل ۴-۱۴- شناسایی محیط به روش *RLS* برای تغییرات محیط به صورت پله ۵۴
شکل ۴-۱۵- شناسایی محیط به روش *RLS* برای تغییرات محیط به صورت سینوسی ۵۴
شکل ۴-۱۶-بلوک دیاگرام مرتب شده به همراه تاخیر ۵۴
شکل ۴-۱۷- کنترلگر *PID* برای محیط با سختی k_s=*2000 N/m* ۵۶
شکل ۴-۱۸- مقایسه نیروی دلخواه و تماسی با استفاده از کنترلگر *PID*..... ۵۷
شکل ۴-۱۹ - فیلتر کالمن و فیدبک حالت روی ربات فرمانبر..... ۵۷
شکل ۴-۲۰- نیروی دلخواه و تماسی با استفاده از روش مشاهده گر کالمن..... ۵۷
شکل ۴-۲۱- تماسی تخمین زده شده توسط فیلتر کالمن ۵۸
شکل ۴-۲۲- نیروهای تماسی در حالتی که کنترلر به روش فیلتر کالمن برای سختی محیط k_s=5000N/m طراحی شده و در محیطهای مختلف ۵۸
شکل ۴-۲۳- نیروهای تماسی در حالتی که کنترلر PID برای سختی محیط k_s=5000N/m طراحی شده و در محیطهای مختلف..... ۵۹
شکل ۴-۲۴- بررسی کنترلر با فیلتر کالمن با حذف حالت اضافی در شرایط طراحی سیستم برای ks=5000N/m و کار در محیطهای مختلف. ۵۹
شکل ۴-۲۵ - بلوک دیاگرام شبیه سازی سیستم عملیات از راه دور..... ۶۰
شکل ۴-۲۶- تغییرات نیرو و جابجایی برایk_s=*100 N/m*..... ۶۰
شکل ۴-۲۷- تغییرات نیرو و جابجایی برایk_s=*300 N/m*..... ۶۱
شکل ۴-۲۸- تغییرات نیرو و جابجایی برایk_s=*1000 N/m*..... ۶۱
شکل ۴-۲۹- تغییرات نیرو و جابجایی برایk_s=*3000 N/m*..... ۶۱

شکل ۴-۳۰- تغییرات نیرو و جابجایی برای $k_s=6000\ N/m$ ۴ ..... ۶۲
شکل ۴-۳۱- بلوک دیاگرام شبیه سازی سیستم عملیات از راه دور به همراه شناسایی محیط به روش RLS در محیطهای نامشخص ۶۳
شکل ۴-۳۲- تخمین سختی محیط متغیر توسط الگوریتم RLS اصلاح شده ۶۳
شکل ۴-۳۳- نیروهای تماسی و مطلوب در شرایط تغییر سختی محیط ۶۴
شکل ۴-۳۴- موقعیتهای فرمانده و فرمانبر در شرایط تغییر سختی محیط ۶۴
شکل ۴-۳۵- نیروهای تماسی و مطلوب در شرایط تغییر سختی محیط با ضریب میرایی فرمانده برابر ۵ ..... ۶۵
شکل ۴-۳۶- موقعیتهای فرمانده و فرمانبردر شرایط تغییرسختی محیط با ضریب میرایی فرمانده برابر ۵ ..... ۶۵
شکل ۴-۳۷- شناسایی محیط با استفاده از روش تجربی ۶۶
شکل ۴-۳۸- موقعیت رباتها در شرایط تغییر محیط با استفاده از روش تجربی جهت شناسایی محیط .. ۶۶

فصل ۱- تعریف و تاریخچه

۱-۱- مقدمه

با افزایش رشد استفاده از اینترنت، کاربردها و موارد استفاده آن نیز روز به روز متنوع تر گردیده است. یکی از زمینه هایی که مدتی است تحقیقات وسیعی را به خود اختصاص داده عملیات از راه دور می‌باشد. در این پایان نامه ابتدا تاریخچه ای از کارهای انجام شده و به مواردی از کاربردهای این سیستمها پرداخته شده است. در فصل بعد به معرفی و بررسی انواع معماریهای کنترل دوسویه پرداخته شده وکاربردها ، مزایا و معایب آنها بررسی گردیده است.

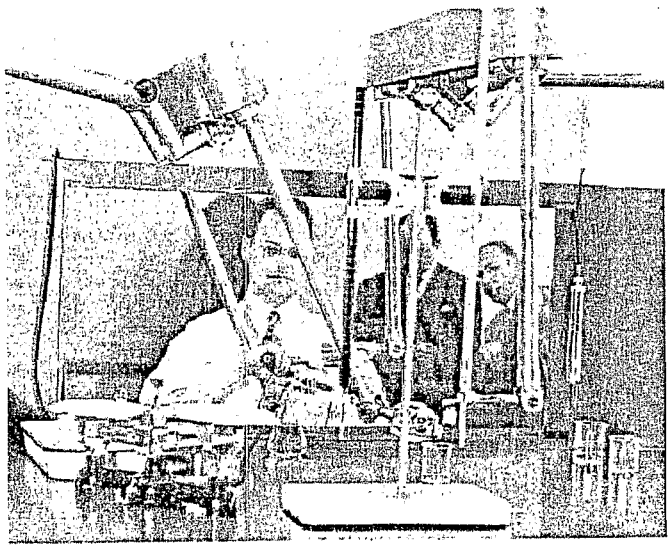
در ادامه به بررسی طراحی یک کنترلگر سیستم عملیات از راه دور دوطرفه به روش کنترل مقاوم با قید پایداری و نامعینی در امپدانس محیط پرداخته شده است وسپس به بررسی کاری مشابه پرداخته شده است با این تفاوت که علاوه بر قید پایداری، قید ردیابی نیز لحاظ گردیده و نامعینی در سمت کاربر نیز در نظر گرفته شده است.از آنجا که اکثر کارهای انجام شده از جمله دو مورد ذکر شده تنها جهت محیطهای نرم در نظر گرفته شده اند در فصل آخر به بررسی طراحی کنترلگری با استفاده از مشاهده گر کالمن پرداخته شده است که محیط سخت را نیز پوشش دهد و در اینجا به عنوان روشی جدید شناسایی محیط به روش (RLS)[1]انجام می‌گیرد تا کنترلگر مورد نظر قابلیت کنترل در هر محیط نا شناخته‌ای را داشته باشد.

۱-۲- تعریف

اگر بخواهیم یک تعریف مختصر ازکنترل دوسویه[2] داشته باشیم، این لغت به معنای "دو طرفه بودن" می‌باشد[۱]. در روباتیک کنترل دو طرفه زمانی به کار میرود که دو سیستم به وسیله "نیرو" ویا "موقعیت مکانی" نسبت به هم در ارتباط باشند. به طور کلی هدف سیستم دوطرفه ایجاد حس محیط راه دور در سمت اپراتور یا همان "حس حضور در محل"[3] می‌باشد. سیستمهای دوطرفه شامل دو قسمت فرمانده وفرمانبر می‌باشند. اپراتور نیرویی در سمت فرمانده ایجاد کرده و حس نیروی اعمالی در سمت فرمانبر به اپراتور منتقل می‌گردد. در آغاز نیاز این سیستمها برای مواردی همانند آزمایشگاههای رادیواکتیو و اعمال جراحی حساس احساس شد که فیدبک تصویری[4] ناکافی به نظر می‌رسید.

---

[1] Recurcieve Least Square
[2] Bilateral Control
[3] Transparency
[4] Visual Feedback



شکل ۱-۱- اولین سیستم فرمانده- فرمانبر توسط ری گورتز

اولین سیستم مکانیکی فرمانده-فرمانبر توسط آقای ری گورتز[۱] در سال ۱۹۴۹ جهت آزمایشگاه رادیو اکتیو اختراع گردید[۲] .عبارت فرمانده-فرمانبر از سیستم مکانیکی و فیلد الکتریکی که او جهت کار خود استفاده کرده بود گرفته شده است[۳]. مکانیسم فرمانده- فرمانبر او به وسیله موتورهای سِروُ الکتریک با فیدبک نیرو در سال ۱۹۵۰ انجام گردید. از آن به بعد کارهای بسیار زیادی در این زمینه توسط محققان صورت گرفته است. در مرجع[۴] مطالعه مفیدی در سال ۱۹۸۹ در این زمینه انجام شده است، ضمنا نگاهی به تاریخچه کنترل دوسویه اخیراتوسط آقایان هکایم[۲]واسپانگ[۳] صورت گرفته است. تحقیقات در زمینه کنترل دوسویه منجر به پیشرفتهای بسیاری در زمینه های دیگر تحقیقاتی گردیده است. همانند پایداری تماسی[۴] تاخیر در ارتباطات[۵]، سیستمهای توزیع شده[۶] و واقعیت مجازی[۷]. از آنجایی که سیستمهای دوطرفه جهت کاربرد در موارد بسیار حساس مورد استفاده قرار می‌گیرد مهمترین فاکتور آنها پایداری می‌باشد.

بعد از مبحث پایداری ویژگی"حس حضور در محل" به عنوان ویژگی مهم بعدی به شمار می‌رود[۵]. این ویژگی به مفهوم معادل و یکسان بودن پاسخ فرمانده و فرمانبر به نیرو و موقعیت مکانی محیط پیرامون می‌باشد. در مرجع [۶] این واژه به "اتصال حسی" [۸] ترجمه شده است. داشتن یک اتصال حسی ایده‌ال سبب میشود اپراتور در هنگام کار با فرمانده حس کند که دقیقا به صورت مستقیم با شئ در ارتباط می‌باشد. یا اینکه به صورت دقیق امپدانس به سمت فرمانده اعمال می‌گردد[۷]. در[۸] نشان داده شده که "حضور در محل" را نمی‌توان به صورت کامل و ایده‌ال اجرا کرد. از آنجایی که امکان ایجاد "حضور

---

[1] Ray Goertz
[2] Hokayem
3 Spong
[4] Contact Stability
[5] Commiunication Delay
[6] Distributed System
[7] Virtual Reality
[8] Kinesthetic Coupling

در محل" به طور کامل وجود ندارد باید امکان ایجاد این خاصیت به حد اکثر ممکن صورت پذیرد. در آخر به تعریف ۳ واژه کلیدی که گاها به اشتباه به‌جای هم مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌پردازیم:

الف- عملیات از راه دور:

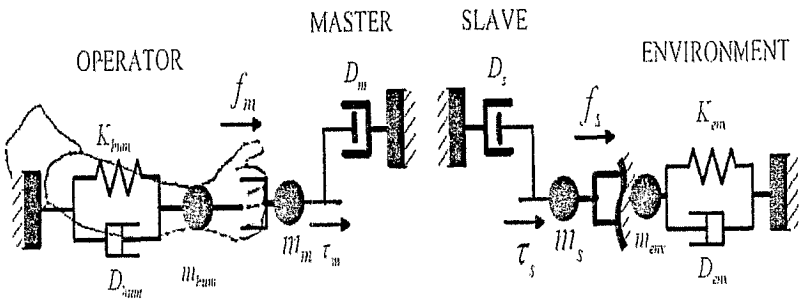
عملیات از راه دور[1] به معنی عملکرد یک سیستم از راه دور میباشد، که به عنوان مثال کنترل یک شیر یا حرکت یک ربات مشاهده گر در مریخ اشاره کرد.

ب- هپتیک:

در مواردی که احتیاج به حس کردن محیط میباشد هپتیک[2] مورد استفاده قرار می‌گیرد. در اینجا نیروی وارد شده به فرمانبر به فرمانده منتقل می‌گردد. در موارد استفاده هپتیک دیگر از کنترل دوسویه استفاده نمی‌گردد. به عنوان مثال شبیه سازیهای مورد استفاده در بازیهای کامپیوتری می‌باشد.

ج-کنترل دوطرفه:

به معنی کنترل سیستم مکانیکی کوپل شده با محیط (فرمانبر) به وسیله سیستم مکانیکی کوپل شده با اپراتور (فرمانده) می‌باشد. سمت فرمانده به وسیله نیروی انتقالی انعکاس یافته از محیط، کنترل فرمانبر را به عهده دارد. فاصله طرفین فرمانده و فرمانبر به اندازه سیستم عملیات از راه دور نمی‌باشد، به عنوان مثال در عملیات جراحی با آسیب کم مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل ۱-۲ نمایی از این سیستم را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲- نمای مکانیکی سیستم کنترل دوطرفه

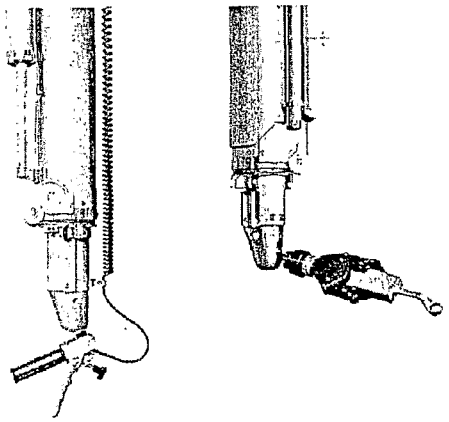
[1] Teleoperation
[2] Haptic

۱-۳- کاربردهاي کنترل دوسويه

از دهه ۵ میلادی سیستمهای کنترل دوسویه مورد توجه بسیاری از رشته های مختلف کاربردی قرار گرفت. با بالا رفتن اهمیت نیروی انسانی در جامعه مدرن نیاز به استفاده از سیستمهای دو سویه جهت کار در موارد مختلف بیشتر گردید. در ادامه به صورت خلاصه مواردی از کاربرد سیستم دوسویه مورد بحث قرار می‌گیرد.

۱-۳-۱- حمل مواد خطرناک

همانطور که قبلا اشاره گردید نقل و انتقال مواد خطرزا دلیل اختراع سیستمهای فرمانده-فرمانبر بود. سیستمهای مکا نیکی و سِروٌ کنترلهایی که فرمانده-فرمانبر را کنترل می‌کنند به طور وسیعی در صنایع و تحقیقات مختلف مورد کاربرد قرار می‌گیرند. شکل ۱-۳ یک سیستم مشابه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳- سیستم فرمانده فرمانبر

۱-۳-۲- کاربرد در پزشکي

سیستمهای عملیات از راه دور همانطور که گفته شد در زمینه پزشکی نیز کاربرد دارند. در سال ۱۹۹۸ برای اولین بار رباتی بنام داوینچی[1] برای انجام معاینات پزشکی استفاده شد ولی این سیستم هیچ فیدبک حسی نداشت و تنها از یک فیدبک ویدئویی استفاده می‌کرد. بعد از آن به مرور سیستمهای پیشرفته تر با فیدبکهای نیرو پیشنهاد شدند که انسان را قادر می‌سازد کارهای دقیق مانند جراحی را نیز انجام دهد. شکل ۱-۴ یک نوع از این ربات جراح را نمایش می‌دهد.

[1] Da Vinci