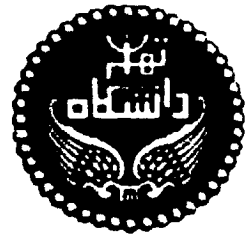

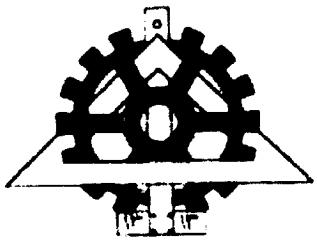

دانشگاه تهران

دانشکده فنی

گروه مهندسی برق و کامپیوتر

۱۳۷۹ /۸/ ۸

مرکز اطلاعات ... ایران
... مدارک

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

در

رشته مهندسی کامپیوتر - گرایش هوش ماشین و رباتیک

موضوع:

جابجاکردن اجسام در جهت قائم توسط چند ربات بصورت گسترده

18429

توسط:

شاهین مهدی نژاد روشن

استاد راهنما:

دکتر مجید نیلی احمد آبادی

استاد مشاور:

دکتر بهزاد مشیری

پاییز سال ۱۳۷۹

۳۱۰۴۴

موضوع:

جابجایی اجسام در جهت قائم توسط چند ربات بصورت گسترده

توسط:

شاهین مهدی‌نژاد روشن

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

در

رشته مهندسی کامپیوتر- گرایش هوش ماشین و رباتیک

از این پایان نامه در تاریخ ۱۳۷۹/۷/۱۲ در مقابل هیات داوران دفاع به عمل آمد و مورد تصویب قرار گرفت.

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده فنی- دکتر محمدعلی بنی‌هاشمی

سرپرست گروه مهندسی برق و کامپیوتر- دکتر محمود کمره‌ای

سرپرست تحصیلات تکمیلی گروه- دکتر جواد فیض

استاد راهنما- دکتر مجید نیلی احمدآبادی

استاد مشاور- دکتر بهزاد مشیری

عضو هیات داوران - دکتر پرویز جبه دار مارالانی

عضو هیات داوران - دکتر محمد جواد یزدان‌پناه

۳۱۰۴۴

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

تشکر و قدردانی

در اینجا لازم است از زحمات جناب آقای دکتر نیلی که در طول پروژه همواره مشوق و راهنمای من بودند تشکر و قدردانی کنم.انجام این پروژه بدون کمکهای ایشان امکان‌پذیر نبود. همچنین از کلیه دوستانی که به هر نحوی در انجام این پروژه مرا یاری کرده‌اند تشکر می‌کنم.

چکیده

یکی از اصلیترین قدمها جهت ایجاد امکان استفاده از رباتهای همکار، طراحی استراتژیهای ساده و پایدار در جهت ایجاد هماهنگی در بین این رباتها در حین انجام وظیفه می باشد. لذا، هدف اصلی این تحقیق تعمیم استراتژی محدودیت-حرکت (Constrain-Move) برای چهار ربات است که بصورت گسترده (Distributed) و با همکاری یکدیگر به سادگی جسم را در جهت قائم حرکت دهند. در این پایان‌نامه، حرکت دادن اجسام به گونه ای بین یک گروه ربات تقسیم می شود که هر ربات بصورت مستقل و با استفاده از اطلاعات سنسوری خود و با رد و بدل نمودن کمترین اطلاعات بصورت استاتیکی وظیفه خود را انجام دهد. در این پایان‌نامه مشکلات نامعین بودن به دلیل وجود افزونگی (Redundancy) و اثرات آن برروی پایداری سیستم بررسی شده است و یک الگوریتم همکاری برای بلند کردن اجسام بدون واژگون نمودن آنها در جهت قائم طراحی شده و شرایط پایداری این روش بدست آمده است. یک استراتژی کنترلی برای تضمین پایداری تماس ربات و جسم نیز آورده شده است. نتایج شبیه سازی دینامیکی صحت استراتژیهای ارائه شده را تأیید می کند.

کلمات کلیدی: ربات، سیستمهای گسترده، همکاری و هماهنگی، جابجایی اجسام، معماری Subsumption

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول- مقدمه	۱
۱-۱- سیستمهای چند رباته و همکاری رباتها	۱
۱-۲- معماری گروه	۳
۱-۲-۱-متمرکزسازی(Centralizationو تمرکززدایی(Decentralization)	۳
۱-۲-۲- تفاوتهای عاملها	۴
۱-۲-۳- ساختار ارتباطات	۴
۱-۲-۴- بررسی و نتیجه‌گیری	۵
۱-۳- جابجاکردن یک جسم توسط چند ربات	۷
۱-۴- بلندکردن و پایین آوردن اجسام	۸
۱-۵- مسأله مورد بحث در این پایان‌نامه	۱۰
۱-۶- مروری بر پایان نامه	۱۰
فصل دوم - مروری بر پژوهشهای پیشین	۱۱
۲-۱- کارهای انجام شده تاسال ۱۹۸۹	۱۱
۲-۲- روشBay-Stillwell	۱۴
۲-۲-۱- دینامیک رهبر-رهرو	۱۴
۲-۲-۲- دینامیکCaster	۱۵
۲-۳- پژوهشDonald-Rus	۱۷
۲-۳-۱- یک پروتکل کنترلی عمومیOff-Line	۱۸
۲-۳-۲-یک پروتکل کنترل محلیOff-Line	۲۰
۲-۳-۳- یک پروتکل سنکرونOn-Line	۲۱
۲-۳-۴- یک پروتکل آسنکرونOn-Line	۲۳
۲-۴- یادگیری وظیفه‌گرا در سیستمهای چندرباته	۲۴

۲-۴-۱- معماری ALLIANCE ۲۴

۲-۴-۲- معماری L-ALLIANCE ۲۵

۲-۵- استراتژی BeRoSh ۲۸

۲-۵-۱- استراتژی همکاری رفتارپایه ۲۸

۲-۵-۲- بستار فرم(Form Closure) و سازماندهی رفتار ۳۰

۲-۶- روش Kosuge ۳۲

۲-۶-۱- طراحی کنترل کننده ۳۲

۲-۶-۲- نیروها و انحرافات مسیر ۳۳

۲-۶-۳- رهبر مجازی ۳۴

۲-۶-۴- خطای تخمین ۳۵

۲-۶-۵- تخمین مسیر و کنترل ۳۶

۲-۷- پژوهش Sugar-Kumar ۳۸

۲-۷-۱-معماری سیستم ۳۸

۲-۷-۲- کنترل ربات رهرو ۳۹

۲-۸- همکاری انسان با رباتها ۴۲

۲-۹- پژوهش Bay برای بلندکردن اجسام ۴۴

۲-۹-۱- رفتار Height ۴۴

۲-۹-۲- رفتار Orientation ۴۵

۲-۹-۳- رفتار Pallet Contact ۴۶

۲-۹-۴- رفتار Force ۴۶

۲-۱۰- بررسی و نتیجه‌گیری ۴۷

فصل سوم - استراتژی محدودیت-حرکت و تعمیم آن ۴۸

۳-۱- استراتژی محدودیت حرکت ۴۸

۳-۱-۱- استراتژی محدودیت-حرکت برای بلندکردن اجسام ۵۱

۳-۱-۲- دوران جسم حول یک نقطه توسط استراتژی محدودیت-حرکت ۵۲

۳-۱-۳- حرکت جسم‌روی‌خط مستقیم‌توسط استراتژی محدودیت-حرکت ۵۴

۳-۲- استراتژی هماهنگی برای سه ربات بلندکننده اجسام ۵۵
۳-۲-۱- اثبات درست بودن استراتژی ۵۷
۳-۲-۲- تشخیص پایین‌ترین ربات ۵۸
۳-۳- مشکلات موجود برای بیش از سه ربات ۵۸
۳-۴- بررسی مسأله بلندکردن اجسام توسط چهار ربات ۶۱
۳-۴-۱- اثرات حرکت یک ربات بر روی حرکت زاویه‌ای جسم ۶۱
۳-۴-۲- تعمیم استراتژی برای چهار ربات ۶۱
۳-۴-۳- تحلیل پایداری تماس و اثر آن بر روی پایداری سیستم ۶۴
۳-۵- استراتژی کنترلی پیشنهادی ۶۶
۳-۵-۱- معماری Subsumption ۶۶
۳-۵-۲- اطلاعات مورد نیاز کنترل‌کننده ۶۷
۳-۵-۳- اجزا کنترلی مورد نیاز ۶۷
فصل چهارم- نتایج شبیه‌سازی و آزمایشات ۷۰
۴-۱- شبیه‌سازی سیستم ۷۰
۴-۱-۱- مدل ریاضی مورد استفاده ۷۱
۴-۱-۲- ساختار نرم‌افزاری شبیه‌ساز ۷۳
۴-۲- نتایج شبیه‌سازی ۷۶
۴-۲-۱- نمونه اول ۷۶
۴-۲-۲ نمونه دوم ۷۹
۴-۲-۳ نمونه سوم ۸۲
۴-۳- ساختار مکانیکی رباتها ۸۶
۴-۴- نتایج آزمایشات عملی ۸۸
۴-۴-۱- نمونه اول ۸۸
۴-۴-۲- نمونه دوم ۸۹
جمع بندی و پیشنهادات برای کارهای آینده ۹۰
مراجع و مآخذ ۹۱

فهرست اشکال

عنوان شکل	صفحه
شکل ۱-۱- جابجایی جسم توسط چند ربات همکار	۶
شکل ۱-۲- جابجایی جسم به کمک چند ربات	۷
شکل۱-۳- رباتها به چهار نقطه A, B, C, D نیرو وارد می کنند	۹
شکل ۲-۱- نمایی از رباتهای مورچه‌سان	۱۴
شکل ۲-۲ رباتی که بصورت یک Caster مدل شده‌است.	۱۵
شکل ۲-۳- تغییر زاویه جسم با یک و دو ربات	۱۷
شکل ۲-۴- یک عملیات فشار-ردیابی دومرحله‌ای توسط سه ربات	۱۸
شکل ۲-۵- نمودار سیستم برنامه‌ریزی در تمام حالات	۱۹
شکل ۲-۶- نمودار اجرایی و گراف ارتباطات سیستم	۲۲
شکل ۲-۷- معماری ALLIANCE	۲۴
شکل ۲-۸- معماری L-ALLIANCE	۲۵
شکل ۲-۹- عکس سیستم BeRoSH	۲۸
شکل ۲-۱۰- جهت توانایی ربات و نقطه هدف مجازی	۲۹
شکل ۲-۱۱- رفتارهای فعال ربات و حرکت ربات به سمت هدف	۳۰
شکل ۲-۱۲- بستار فرم در صفحه دوبعدی	۳۱
شکل۲-۱۳- کنترل حرکت نرم هر ربات	۳۳
شکل ۲-۱۴- رهبر مجازی	۳۴
شکل ۲-۱۵- ارتباط مسیر دلخواه	۳۵
شکل ۲-۱۶- تخمین زننده	۳۶
شکل ۲-۱۷- سیستم در حال جابجا کردن جسم انعطاف‌پذیر	۳۸
شکل ۲-۱۸-نمای سیستم ار بالا برای سه ربات	۴۰
شکل ۲-۱۹- نمودار یک بازو	۴۱
شکل ۲-۲۰- سیستم مختصات ربات رهرو	۴۱
شکل ۲-۲۱- همکاری انسان ربات برای جابجاکردن اجسام	۴۳
شکل ۲-۲۲- چهار ربات جسم میله‌ای را بلند می‌کنند.	۴۴
شکل ۲-۲۳- کنترل کننده رفتارپایه	۴۵
شکل ۳-۱- لولای در محدودیت ایجاد می کند	۴۹
شکل ۳-۲- ریل حرکت قطار را محدود می‌کند	۴۹
شکل ۳-۳- جسم در جهتهای افقی محدود است. ربات فقط در جهت عمودی نیرو وارد	۵۰

میکند	
شکل ۳-۴- رباتها جسم را از کنار محدود می‌کنند.	۵۲
شکل ۳-۵. نیروهای اینرسی‌جسم محدودکننده هستند	۵۲
شکل ۳-۶-رباتهای سفید محدودیت ساز و ربات سیاه حرکت دهنده است.	۵۳
شکل ۳-۷- محدودیت برای حرکت روی مسیر مستقیم	۵۵
شکل۳-۸ - رباتها به چهار نقطه A, B, C نیرو وارد می کنند	۵۶
شکل ۳-۹- مثلث تماس سه ربات	۵۷
شکل ۳-۱۰- قرار گرفتن جسم روی تکیه‌گاه	۵۸
شکل ۳-۱۱- نواحی سطح تماس جسم و رباتها	۶۱
شکل۳-۱۲- حالات مختلف قضیه ۱	۶۲
شکل۳-۱۳- رباتها به چهار نقطه A, B, C, D نیرو وارد می کنند	۶۳
شکل ۳-۱۴- نمای کلی یک رفتار	۶۶
شکل ۳-۱۵- ساختار کنترل کننده	۶۷
شکل ۳-۱۶- ساختار رفتار Reduce Object Angle	۶۸
شکل ۴-۱- نمای شبیه‌ساز	۷۱
شکل ۴-۲- فنرهای بین جسم و ربات i ام	۷۲
شکل ۴-۳- رابطه بین کلاسهای شبیه‌ساز	۷۳
شکل ۴-۴- نمودار های مربوط به استراتژی سه ربات برای مستطیل	۷۷
شکل ۴-۵- نمودار های مربوط به استراتژی جدید برای مستطیل	۷۸
شکل ۴-۶- روند واژگون شدن جسم در نمونه دوم بدون رفتار Keep Contact	۷۹
شکل ۴-۷- نمودار های مربوط به استراتژی جدید بدون رفتار Keep Contactبرای ذوزنقه	۸۰
شکل ۴-۸- نمودار های مربوط به استراتژی جدید برای ذوزنقه	۸۱
شکل ۴-۹- نمودار های مربوط به استراتژی جدید بدون رفتار Keep Contactبرای متوازی‌الاضلاع	۸۳
شکل ۴-۱۰- نمودار های مربوط به استراتژی جدید برای متوازی‌الاضلاع	۸۴
شکل ۴-۱۱- مراحل نمونه اول آزمایش عملی	۸۸
شکل ۴-۱۲- مراحل نمونه دوم آزمایش عملی	۸۹

فصل اول

مقدمه

۱-۱- سیستمهای چند رباته و همکاری رباتها

در سالهای اخیر فعالیتهای گسترده‌ای در زمینه سیستمهای چندرباته‌ای که باید بطور جمعی یک عمل را انجام دهند،انجام شده‌است. دلایل زیادی وجود دارد که موجب شود اینگونه سیستمها مورد توجه قرار گیرند. مثلاً انجام یک کار به تنهایی برای یک ربات ، ممکن است بسیار پیچیده باشد یا اصولاً امکان‌پذیر نباشد و یا کارایی سیستم در حالتی‌که از یک ربات استفاده شده است بسیار پایین باشد. از سوی دیگر طراحی، ساخت و کاربرد چند ربات ساده، بسیار آسان‌تر، ارزان‌ترو دارای قابلیت انعطاف بیشتری از حالتی است که از یک ربات پیچیده استفاده می شود. از سوی دیگر تحمل‌پذیری خرابی در حالتیکه سیستم از یک ربات پیچیده تشکیل شده است بسیار پایین‌تر است. علاوه براین، نتایج تجربیات سیستمهای چند

رباته می‌تواند در سایر علوم نظیر علوم اجتماعی(اقتصاد، تئوری مدیریت)، علوم زیستی(زیست‌شناسی، جانورشناسی) و علوم شناختی(روانشناسی، یادگیری و هوش مصنوعی) مورد استفاده قرار بگیرد.

مطالعه سیستمهای چند رباته ادامه تحقیقات روی سیستمهای یک رباته است با این تفاوت که این سیستمها قادر به انجام کارهایی می‌باشند که یک ربات تنها قادر به انجام آن نمی‌باشد. از سوی دیگر سیستمهای چندرباته به دلیل محیط واقعی که باید در آن کارکنند با سایر سیستمهای گسترده تفاوت دارند و مدلسازی و تحلیل آنها از سایر سیستمهای مشابه(نظیر محاسبات گسترده، شبکه‌های کامپیوتری و پایگاه‌های داده‌ای) پیچیده‌تر می‌باشد.

عبارت رفتار گروهی(Collective Behavior) عموماً به رفتار عاملها (Agents)در یک سیستم که شامل بیش از یک عامل باشد، اطلاق می‌گردد. رفتار همکاری(Cooperation Behavior) که زمینه کاری انجام شده در این پژوهش می‌باشد زیرمجموعه‌ای از رفتار گروهی است که در آن هدف اصلی عاملها انجام یک کار با همکاری یکدیگر است.

فرهنگ لغت Oxford لغت "Cooperation" را عمل‌کردن و فعالیت‌کردن با یکدیگر برای یک هدف خاص تعریف کرده است. در حوزه علم رباتیک تعاریف مختلفی از همکاری انجام شده‌است:

[Barnes91] همکاری را رفتار گروهی و جمعی تعریف می‌کند ، به گونه‌ای که به سمت اهدافی رهبری شود که یک علاقه یا پاداش مشترک برای عاملها وجود داشته‌باشد. [Mataric94] همکاری را گونه‌ای از مبادله اطلاعات تعریف می‌کند که عموماً بر پایه ارتباط می‌باشد. از سوی دیگر [Premvun90] همکاری را ملحق شدن به یکدیگر برای انجام کاری معرفی میکند که موجب بوجود آمدن یک نتیجه بهبودیافته مثل افزایش کارآیی یا صرفه‌جویی در زمان می‌شود. هر یک از این تعاریف همکاری را به گونه‌ای تعریف می‌کنند که مدنظر کاربرد خاص آنهاست. تعریف اول برای مطالعه تقسیم و تخصیص وظایف(Task Allocation) و سایر موضوعات مرتبط با هوش مصنوعی گسترده(Distributed AI) مانند

یادگیری(Learning) است. تعریف دوم مرتبط با انتقال اطلاعات و تصحیح عملکرد و تحمل‌پذیری خرابی است.

تعریفی که پژوهش انجام شده در قالب آن می گنجد در واقع همان تعریف اول [Barnes91] می‌باشد. یک تعریف عمومی‌تر توسط [Cao95] ارائه شده است:

« یک سیستم چندرباته دارای رفتار همکاری است اگر به دلیل کاربرد یک مکانیزم(مکانیزم همکاری) در قابلیتها و امکانات سیستم افزایشی صورت پذیرد. این بهبود بسته به نظر طراح ممکن است در سیستم کنترلی یا ارتباطات باشد.»

۱-۲- معماری گروه

معماری یک سیستم محاسباتی در واقع آن بخش از سیستم است که تا وقتی یک عامل خارجی آنرا تغییر ندهد بدون تغییر باقی‌بماند[VanLehn91] . معماری گروهی یک دسته ربات همکار این مسئله که چه رفتارهای گروهی توسط گروه پیاده‌سازی می‌شوند را بیان می‌کند و از سوی دیگر قابلیتها و محدودیتهای سیستم را تعیین می‌نماید. در ادامه بطور خلاصه به چند مورد از معیارهای یک معماری گروهی برای رباتهای متحرک پرداخته‌می‌شود.

۱-۲-۱- متمرکزسازی(Centralization) و تمرکززدایی(Decentralization)

هنگامی‌که یک معماری گروهی تعریف می‌شود مهمترین تصمیم این است که سیستم متمرکز یا غیرمتمرکز باشد. خود سیستم غیرمتمرکز نیز می‌تواند سلسله‌مراتبی(Hierarchical) یا گسترده(Distributed) باشد. معماریهای متمرکز با یک عامل کنترلی تنها کنترل می‌شوند اما در معماریهای غیرمتمرکز چنین عاملی وجود ندارد. دو نوع معماری غیرمتمرکز وجود دارد: معماریهای گسترده که در آنها همه عاملها از دیدگاه کنترلی یکسان می‌باشند و معماریهای سلسله‌مراتبی که بطور محلی متمرکز است. هم اکنون موضوعی که بیشتر مدنظر محققین قرار دارد معماری غیرمتمرکز است. در

مـــــورد مزایـــــای سیســـــتمهای غـــــیر متمرکـــــز بحثـــــهای زیـــــادی صـــــورت پذیرفته‌است[Steels94][Arkin92][Beckers94]. از جمله این مزایا می‌تـوان بـه تحمـل‌پذیـری خرابـی، طبیعت موازی ، قابلیت اطمینان و قابلیت تغییر اندازه سیستم اشاره‌کرد.

۱-۲-۲- تفاوتهای عاملها

اگر قابلیتهای رباتـــها در گروه کـاملاً یکسـان باشـد بـه آن گروه ، گروه همـگن(Homogeneous) و در غیراینصورت ناهمگن (Heterogeneous) اطلاق می‌شود. سیستمهای ناهمگن عموماً از آنجاییکه تخصیص وظایف در آنها مشکلتر است و لازم است تا رباتها مدلی از ســایرین داشـته باشـند، پیچیده‌تـر می‌باشـند. بیشـتر معماریـهای موجـود از نـوع همـگن مـی باشـند امـا تعـدادی معمـــاری نـــاهمگن نـــیز وجـــود دارد(معماریALLIANCE). در گروه‌های ناهمگن تخصیص وظایف ممکن است براسـاس قابلیتـهای هـر عضو تعیین شود اما در سیستمهای همگن این وظایف ممکن است هنـــگام طراحـی بصورتـهای متفـاوتی درنظرگرفته شود و یا حتی هنگام اجرا این وظایف عوض شوند.

۱-۲-۳- ساختار ارتباطات

ساختار ارتباطات یک گروه انواع مختلف رابطه بین عاملها را تعیین می کند. سه نوع ارتباط می‌تواند مد نظر قرار بگیرد:

- **رابطه ازطریق محیط**

ساده‌ترین و محدودترین راه ارتباط هنگامی است که از خـود محیـط بـه عنـوان یـک رسـانه ارتبـاطی استفاده شود(در واقع یـک حافظـه مشـترک) و هیـچ رابطـه‌ای بیـن عاملـها موجـود نباشـد. نمونـه‌ای از سیســـتمهایی کـــه از ایـــن روش اســـتفاده می‌کننـــد در [Goss92]، [Beckers94]، [Arkin92] [Steel90]، [Tung94]، [Tung93]، [Sen94]، [Bay93]، [Nili96a,b]، [Nili97a,b] ، [Nili98] ،

[Bay93]و [Bay95] قابل ملاحظه می‌باشند. در مورد بعضی از آنها نیز در فصلهای آتی به تفصیل صحبت خواهد شد.

- **ارتباط از طریق حس کردن**

در این روش یک عامل قادر است وجود سایر عاملها را بدون وجود ارتباط مستقیم بین عاملها توسط حسگرهای خود احساس کند یعنی عاملها بتوانند سایر عاملها را در بین گروه و سایر اجسام موجود در محیط تشخیص دهند.

- **ارتباط از طریق رابطه مستقیم**

سومین روش ارتباطی ارتباط مستقیم بین اعضا است که این ارتباط می تواند از طریق پیامی باشد که مستقیماً به عامل مورد نظر ارسال شود یا از طریق انتشار برای همه عاملها فرستاده شود و خود عامل مورد نظر اطلاعات مورد نیازش را استخراج کند. اینگونه معماری ارتباطی شباهتهای زیادی به شبکه‌های کامپیوتری دارد و لذا می‌توان از توپولوژیهای مختلف شبکه و پروتکلهای ارتباطی موجود برای اینگونه سیستمها نیز استفاده کرد.

۱-۲-۴- بررسی و نتیجه‌گیری

می توان سیستمهای همکار را به دو دسته اصلی تقسیم نمود. در دسته اول سیستمهایی وجود دارند که نیاز به هماهنگی بسیار دقیق بین رباتها نمی باشد، همانند رباتهای همکار جمع کننده مین و .... دسته دوم شامل سیستمهایی میگردد که در هر لحظه نیاز به هماهنگی بین اعضا وجود داشته و هر حرکت یک ربات در هر لحظه بر روی دیگر اعضا و کل تیم اثر می گذارد. سیستمهای همکار جابجا کننده اجسام (شکل ۱-۱) از این دسته سیستمها می باشند. در این گروه ربات، به لحاظ اینکه همه رباتها از طریق جسم به یکدیگر متصل هستند ، هر حرکت و یا نیروی اضافی هر ربات سریعاً به اعضای دیگر منتقل شده و پایداری سیستم را تحت تأثیر قرار می دهد.