کلیدواژه‌ها : ربات پوششی محافظ خارجی، توان‌بخشی، مدل‌سازی، کنترل تطبیقی، نامعینی

چکیده:

ربات‌های پوششی، سیستم‌های رباتیکی هستند که در تعامل با انسان برای انجام یک وظیفه‌ی مشترک باهم همکاری می‌کنند. تعامل انسان – ربات، در این‌گونه سیستم‌ها به دو صورت فیزیکی و شناختی می‌باشد. به دلیل ارتباط مستقیم ربات‌های پوششی محافظ خارجی با انسان‌ها، امنیت و قابلیت اطمینان چنین سیستم‌هایی از اهمیت فراوانی برخوردار است. با توجه به کاربردهای گسترده‌ی این ربات‌ها بخصوص در زمینه‌های نظامی و پزشکی، در این پایان‌نامه به بررسی ربات پوششی محافظ خارجی توان‌بخشی و ایجاد مکانیزمی برای ربات پرداخته می‌شود که بتواند یک مسیر را دنبال نماید. در این راستا عوامل محیطی و نامعینی بخشی از کار را شامل می‌شود و این مسئله ما را وامی‌دارد تا بتوانیم در کنار کنترل مسئله تطبیق‌پذیری را نیز در فرآیند کار سیستم ربات توان‌بخشی بگنجانیم. در این پایان‌نامه هدف طراحی یک سیستم کنترل تطبیقی می‌باشد به‌گونه‌ای که بتواند ربات پوششی (توان‌بخشی) را در مسیرهای معین هدایت کند. مدل های ربات بررسی شده در این پایان نامه شامل یک ربات بازوی دودرجه آزادی با هفت پارامتر دینامیکی نامعین و مدل ربات بازوی سه درجه آزادی، صفحه ای با نیروی خارجی نامعین وارده بر عملگر نهایی می‌باشد و مسیرهای ایده‌آل عملگر نهایی به صورت دایره، نیم دایره و بیضی در نظر گرفته می‌شود. نتایج شبیه سازی نشان از مشخصه های پایداری مناسب ربات پوششی در ردیابی مسیرهای مشخص شده دارد.

عنوان صفحه

فصل اول: پیشینه پژوهش ۱

۱-۱. مقدمه ۲

۱-۲. مطالعه کلی ربات‌های پوششی در ساختارهای توان‌بخشی ۲

۱-۲-۱. بررسی ربات‌های پوششی ۲

۱-۲-۲. ساختار مکانیکی در افزایش توان ۶

۱-۲-۳. سیستم‌های توان‌بخشی برای اشخاص معلول و اهمیت آن‌ها ۷

۱-۲-۴. چگونگی برقراری ارتباط انسان- ربات در ربات‌های توان‌بخشی ۸

۱-۲-۵. نحوه تکامل ربات‌های توان‌بخشی ۱۱

۱-۲-۶. نحوه دریافت سیگنال از انسان ۱۲

۱-۳. مطالعه ربات پوششی ۱۶

۱-۳-۱. مدل‌سازی ربات اگزواسکلتون ۱۶

۱-۴. کنترل ۲۰

۱-۴-۱. کنترل سیستم ترکیبی ربات – انسان ۲۰

۱-۴-۲. کنترل بر اساس شناخت سیستم ترکیبی ۲۱

۱-۴-۳. کنترل بر اساس سنجش سیگنال ۲۳

۱-۴-۴. روش‌های کنترل سیستم ترکیبی ربات – انسان ۲۵

۱-۴-۵. سیستم‌های کنترل تطبیقی و لزوم کاربرد آن‌ها ۲۷

۱-۴-۶. اهمیت سیستمهای تطبیقی در رباتهای توان‌بخشی ۲۸

۱-۵. تعریف مسئله ۳۱

فصل دوم: مواد و روش‌ها ۳۳

۲-۱. مقدمه ۳۵

۲-۲. طراحی سیستم کنترل برای ربات توانبخشی ۳۵

۲-۲-۱. طراحی کنترلر ۴۰

۲-۳. ربات توانبخشی ۳ درجه آزادی ۴۷

۲-۳-۱. تولید مسیر ۵۰

۲-۴. جمع بندی ۵۲

فصل سوم: نتایج، بحث و پیشنهادات ۵۳

۳-۱. شبیه سازی ربات ۲ درجه و ۳ درجه آزادی ۵۴

۳-۲. نتایج شبیه سازی ۵۶

۳-۲-۱. مدل دو درجه آزادی با تخمین پارامترها ۵۶

۳-۲-۲. مدل ۳درجه آزادی با قابلیت پذیرش نیروی نامعین ۶۶

۳-۳. نتیجه گیری ۷۳

۳-۴. پیشنهادات ۷۴

مراجع و منابع ۷۶

عنوان صفحه

جدول ۱-۱. سنسورهای بکار رفته در ربات‌های توان‌بخشی و پوششی[۴]..... ۱۵

جدول ۲-۱. مقادیر عددی بکار رفته در مدلسازی و طراحی ۳۶

عنوان صفحه

شکل ۱-۱. رباتهای پوششی ۴
شکل ۱-۲. نمایش شماتیکی سمت راست نیروی خارجی و سمت چپ نیروی داخلی سیستم‌های اگزواسکلتون میباشد[۵]. ۶
شکل ۱-۳. بیان نحوه ارتباط فیزیکی ربات توان‌بخشی و انسان[۷] ۱۰
شکل ۱-۴. انواع ربات‌های بکار رفته به‌منظور توان‌بخشی بیمار[۱۸] ۱۲
شکل۱-۵. نحوه به دست آوردن سیگنال‌های موردنیاز از اپراتور[۴]. ۱۳
شکل ۱-۶. نمایش سیستم ترکیبی به‌صورت بلوک‌بندی و ساختار توصیفی[۴]. ۱۴
شکل ۱-۷. آناتومی اندام فوقانی: (a) استخوانها، (b) ماهیچهها، (c) مدل جسم صلب[۴۳] ۱۷
شکل ۱-۸. اجزای یک سیستم بیومکاترونیکی[۴۳] ۱۹
شکل ۱-۹. کنترل با استفاده از شناخت و بر اساس فرمان اپراتور[۴] ۲۲
شکل ۱-۱۰. کنترل بر اساس سیگنال ولتاژ و پردازشگر مرکزی[۷] ۲۲
شکل ۱-۱۱. روش کنترلی بکار رفته بر اساس کنترل نیرو[۴] ۲۳
شکل ۱-۱۲. روش کنترلی بکار رفته بر اساس تابع-متبوع[۴] ۲۴
شکل ۱-۱۳. روش کنترلی بر اساس برنامه‌ریزی[۷] ۲۴
شکل ۲-۱. ربات با دو درجه آزادی و جسم قفل شده در انتهای آن ۳۶
شکل ۲-۲. شماتیک روش کنترل تطبیقی بکار رفته ۴۰
شکل ۲-۳. شماتیک ربات توانبخشی با سه درجه آزادی پیشنهادی که سیگما علامت جمع است در ابتدا یعنی مجموع جرم در انتها مجموع حرکت ۴۷
شکل ۲-۴. شماتیک روش کنترلی پیشنهادی ۴۹
شکل ۳-۱. مسیر پیموده شده توسط عملگر نهایی بازوی توانبخشی و مسیر مطلوب ۵۶

شکل ۳-۲. مسیر پیموده شده توسط عملگر نهایی بازوی توانبخشی و مسیر مطلوب در روش کنترل امپدانس[۶۰] ۵۷
شکل ۳-۳. متغیرهای مکان و سرعت در فضای کار در قیاس با مقادیر مطلوب متناظر در هر لحظه.... ۵۸
شکل ۳-۴. مقدار خطا برای عملگر نهایی ربات در فضای کار برای متغیرهای مکان و سرعت ۵۹
شکل ۳-۵. نمودار نیروی کنترلی وارد بر ربات ۶۰
شکل ۳-۶. بردار لغزش تطبیقی در فضای مفصلی ۶۱
شکل ۳-۷. پارامترهای سینماتیکی تخمین زده شده ۶۲
شکل ۳-۸. پارامترهای دینامیک تخمین زده شده ۶۳
شکل ۳-۹. پارامترهای محرک تخمین زده شده ۶۴
شکل ۳-۱۰. مسیر پیموده شده توسط عملگر نهایی بازوی توانبخشی راستای محور X وYو و مسیر مطلوب بیضوی عمودی ۶۵
شکل ۳-۱۱. مسیر پیموده شده توسط عملگر نهایی بازوی توانبخشی در راستای محور X وYو مسیر مطلوب بیضوی افقی ۶۶
شکل ۳-۱۲. مسیر عملگر نهایی در مقابل با مسیر مطلوب ۶۷
شکل ۳-۱۳. شکل موج مسیر مرجع و مسیر پیموده شده برای ربات در حالت عدم حضور نیروی نامعین [۶۱] ۶۸
شکل ۳-۱۴. مسیر مطلوب و مسیر طی شده توسط ربات در راستای محور X ۶۹
شکل ۳-۱۵. مسیر مطلوب و مسیر طی شده توسط ربات در راستای محور Y ۶۹
شکل ۳-۱۶. پاسخ نیروی تماسی در روی محور X در مقابل نیروی نامعین ۷۰
شکل ۳-۱۷. پاسخ نیروی تماسی تحت در روی محور Y در مقابل نیروی نامعین ۷۱
شکل ۳-۱۸. قانون کنترلی u_1 در مفصل اول ۷۲

شکل ۳-۱۹. قانون کنترلی u_2 در مفصل دوم ۷۲

شکل ۳-۲۰. قانون کنترلی u_3 تحت در مفصل سوم..... ۷۳

فصل اول:

پیشینه پژوهش

۱-۱. مقدمه

ربات‌های توان‌بخشی در چند دهه گذشته مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرارگرفته است. موارد تحقیقی و پژوهشی بسیاری روی این ربات‌ها انجام گردیده است. ربات‌های توان‌بخشی در حال حاضر در ربات‌های انسان‌نما (اعضای بالاتنه ،اعضای پایین‌تنه) ، بازوهای مکانیکی ، پروتزها، اورتزها و... مورداستفاده قرار می‌گیرند. هدف از طراحی این نوع ربات توان‌بخشی کمک به افراد معلول جسمی با اختلال عملکرد اندام فوقانی، حرکت کمکی ربات پو ش شی برای اندام فوقانی تا حرکت‌های روزانه اندام فوقانی را آ سان نموده و فراهم کردن درمان توان‌بخشی مؤثرمی باشد.

۱-۲. مطالعه کلی ربات‌های پوششی در ساختارهای توان‌بخشی

۱-۲-۱. بررسی ربات‌های پوششی

مروری بر تاریخ رباتیک و پیشرفت آن، تعامل[1] هرچه نزدیک‌تر انسان و ربات را نشان می‌دهد. در ابتدا، ربات‌ها در محیط‌های صنعتی به‌عنوان جایگزینی برای ا نسان در انجام وظایف تکراری و خ سته‌کننده و نیز در کارهایی که نیاز به‌دقت زیاد داشتند بکار گرفته می‌شدند. اما امروزه شاهد افزایش روزافزون تعامل انسان و ربات هستیم. به‌عبارتی‌دیگر این تعامل از تبادل صرف اطلاعات (در وظایف کار از راه دور[2]) به ارتباط نزدیک فیزیکی[3] و شناختی[4] با انسان در حال گسترش است. به همین خاطر مفهومی به نام ربات‌های پو ششی به وجود آمده ا ست. ربات‌های توان‌بخشی و در ا صل پو ششی، سیستمهای ترکیبی انسان- ربات[5]

[1] Interaction
[2] Teleoperation and Telemanipulation
[3] Physical
[4] Cognitive
[5] Human-Robot Cooperation Systems

هستند که توان انسان را در محیط‌های مختلف افزایش می‌دهند و تنها کاری که کاربر انسانی انجام می‌دهد کنترل موقعیت و تولید سیگنال حرکتی برای رباتاست [۳۴]. این ربات‌ها به شکل یک ساختار مکانیکی هستند که بر روی قسمت خارجی بدن انسان نصب می‌گردند [۳۶]. تحقیق بر روی این دسته از ربات‌ها به‌طورجدی از سال ۱۹۹۰ در آمریکا، ژاپن و اروپا شروع‌شده است و هم‌اکنون در کاربردهای پزشکی، نظامی و توان‌بخشی مورداستفاده قرار می‌گیرد [۴]. ربات‌های پوششی در حال تبدیل‌شدن به یک ابزار بسیار قدرتمند برای کمک به درمانگران در توان‌بخشی بیمارانی که شرایط عصبی، به‌ویژه سکته مغزی یا آسیب نخاعی خاصی برخوردارند می باشد [۴۴]. اگر فردی که دچار قطع نخاع شده با استفاده از حسگرها و امواج مغزی و الکترودهایی که در مغز بیمار کارگذاری می‌گردد بازوهای رباتیک را به کمک نیروی فکری کاربر کنترل نماید, در این صورت یک سیستم رباتیک برای افراد معلول کم‌توان یا افراد سالمند زندگی مطلوبی را رقم می‌زند. در حقیقت ربات‌ها وارد حوزه درمان شده و با حضورشان به انسان‌ها نزدیک‌تر شده و تنها تصورمان به داستان‌ها و فیلم‌های علم و تخیلی محدود نمی‌شود. ربات‌های پوششی در حوزه مهندسی پزشکی از کاربردهای زیادی برخوردار می باشند که از زیر شاخه‌های آن به ربات‌های توان‌بخشی می‌توان اشاره کرد که برای کمک به بیماران مبتلا به ضایعات مغزی طراحی گردیده اند [۵۸]. ربات‌های پوششی مبتنی بر انسان می‌باشند. این ربات‌ها توسط انسان به منظور بهبود توانایی اعضا و یا جایگزینی کامل عضو ازکارافتاده بکار گرفته می‌شوند. ربات‌های پوششی مانند اگزواسکلتونها یا ربات‌های اُرتوتیک یا در کنار اندام‌های انسان عمل می‌کنند و یا به‌عنوان جایگزینی برای اعضای بدن به کار می‌روند. قابلیت پوشیدن به معنای این نیست که این ربات‌ها، سیار، قابل‌حمل و خودکار هستند. در اغلب مواقع ربات‌های پوششی سیار نیستند و این نتیجه‌ی ضعف تکنولوژی روز در زمینه ی عملگرها و منابع انرژی است.

می‌توان به ربات‌های پوششی به‌عنوان فناوری بهبود کارایی و قابلیت انسان، افزایش قدرت انسان و

جایگزینی برای اندام‌های او نگاه کرد. در شکل(۱-۱) یک طبقه‌بندی از ربات‌های پوششی بر مبنای کاری که به همراه کاربر انسانی انجام می‌دهند آورده شده است.

شکل ۱-۱. ربات‌های پوششی (بالا سمت چپ) یک ربات اگزواسکلتون بالاتنه [۱]، (بالا سمت راست) یک ربات (پایین سمت چپ) یک ربات اگزواسکلتون پایین‌تنه[۳]، (پایین سمت راست) یک ربات پروستوتیک بالاتنه[۲]، پروستوتیک پایین‌تنه[۴].[۵]

بنابراین نمونه‌های مثال‌هایی از ربات‌های پوششی می‌باشند:

[1] upper limb orthotic exoskeleton
[۲] upper limb prosthetic robot
[3] lower limb orthotic exoskeleton
[4] lower limb prosthetic robot

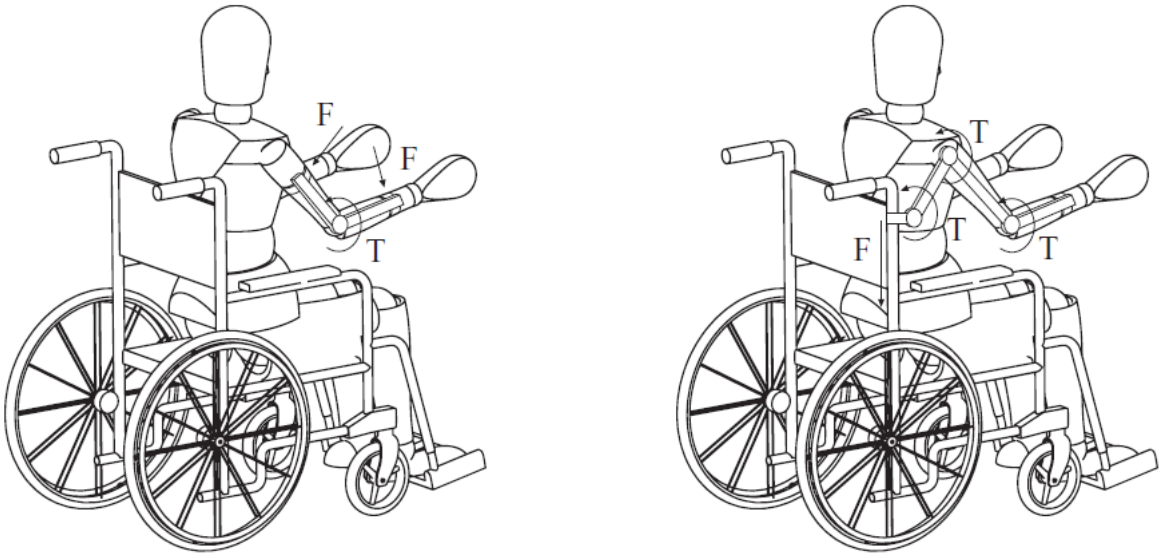
الف – ربات‌های اگزواسکلتون برای افزایش توان[1]: این ربات‌ها در اصل به‌عنوان توسعه‌دهنده‌های انسان[2] شناخته می شوند و به‌عنوان گروهی از ربات‌ها که قدرت انسان را فراتر از حالت طبیعی می‌برند معروف هستند. در این‌گونه از ربات‌ها، انسان، کنترل ربات را در دست دارد. ربات‌های اگزواسکلتون دارای ساختاری مشابه آناتومی بدن انسان می‌باشند.

ب – ربات‌های اُرتوتیک[3]: هدف ازاین‌گونه از ربات‌ها بازگرداندن کارکردهای ضعیف و نابودشده اعضای انسان به حالت طبیعی می‌باشد. این از کارافتادگی می‌تواند ناشی از یک بیماری و یا یک وضعیت عصبی باشد. این ربات‌ها را نیز می‌توان ربات‌های اگزوا سکلتون نامید زیرا به عضو آسیب‌دیده متصل می‌گردند تا کارکرد ناقص آن را بهبود دهند.

ج – ربات‌های پروستوتیک[4]: پروتز، دستگاهی الکترومکانیکی است که جایگزین عضو قطع‌شده می‌گردد تا حد امکان همانند عضو طبیعی رفتار کند [۵].

از سوی دیگر، ربات‌های اُرتوتیک ، به‌عنوان ربات‌های پوششی ، در واقع عملکردی از کار نیروی اندام‌های انسان برای جبران نیروی داخلی می باشند. در این نوع ربات پوشیدنی، نیرو و توان متغیرهایی هستند که با استفاده از اگزوسکلتون بین بخش هایی از اندام انسان منتقل می شوند . در واقع نیروی داخلی اگزوا سکلتون‌ها، تنها بین اگزوا سکلتون و اندام متمرکز می با شد . و تنها انتقال توان بین بدن انسان و ربات به‌عنوان مکانیزمی جهت اجرای کنترل ورودی و یا فیدبک نیرو می‌باشد . نیروی خارجی در سیستم مکانیکی اگزواسکلتون‌ها به‌عنوان حمل بار عمل می‌کند و فقط بخش کوچکی از نیرو به ربات پوششی اعمال می‌شود. که عملکرد نیروها و گشتاورها در شکل (۱-۲) قابل مشاهده می‌باشد.

[1] Empowering Robotic Exoskeletons
[2] Human Extenders
[3] orthotic robotics
[4] Prosthetic Robots



شکل ۱-۲. شکل سمت راست نیروی خارجی و سمت چپ نیروی داخلی سیستم‌های اگزواسکلتون می-باشد[۵].

۱-۲-۲. ساختار مکانیکی در افزایش توان

از آنجایی که اگزواسکلتون‌ها به بدن انسان متصل می‌گردند، بنابراین در طراحی این وسیله بایستی اطلاعات کافی از دینامیک[1] و سینماتیک[2] بدن انسان داشته باشیم. همچنین بایستی هدف از طراحی چنین رباتی نیز مشخص باشد. ساختارهای مختلف اگزواسکلتونهای افزایش توان را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود [۴]:

۱. شبیه انسان[3]: محور چرخش مفاصل ربات در امتداد محور چرخش مفاصل انسان است.

۲. نیمه شبیه انسان[4]: دارای مفاصلی هستند که ازلحاظ کارکرد مشابه مفاصل انسان هستند.

۳. غیر مشابه با انسان[5]: مفاصل انسان و ربات در یک امتداد نیستند.

[1] Dynamic
[2] synematic
[3] Anthropomorphic
[4] Quasi-Anthropomorphic
[5] Non-Anthropomorphic

۱-۲-۳. سیستم‌های توان‌بخشی برای اشخاص معلول و اهمیت آن‌ها

ناتوانی فیزیکی جزئی یا کلی در اعضای بالاتنه از جمله آسیب‌هایی است که ناشی از سکته‌ی مغزی[1]، بیماری‌های قلبی-عروقی، آسیب‌های ورزشی، آسیب‌های شغلی و آسیب‌های مغزی-نخاعی است [۲]. سکته‌ی مغزی ناشی از توقف جریان خون به مغز و درنتیجه آسیب دیدن سلول‌های مغزی می‌باشد. افرادی که دچار سکته‌ی مغزی می‌شوند معمولاً از سکته‌ی ناقص یا از دست دادن توان فیزیکی یک سمت از بدن و مشکلات مربوط به حافظه رنج می‌برند که این امر انجام فعالیت‌های زندگی روزانه را برای آن‌ها مشکل می سازد [۳]. توان‌بخشی[2] بهترین روش درمانی برای این‌گونه ناتوانی‌ها ست. فرآیندی که به شخص بیمار اجازه می‌دهد تا بهترین حالت استفاده از اندام‌های آسیب‌دیده‌ی خود را یاد گرفته و استقلال خود را به دست آورد. اما از آنجایی که تعداد چنین افرادی در حال افزایش است و مدت‌زمان درمان طولانی است، ربات‌های اگزواسکلتون می‌توانند به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای در این برنامه‌ها بکار گرفته شوند [۲]. با توجه به آمارهای سازمان بهداشت جهانی، سالیانه بیش از ۱۵ میلیون نفر از مردم دنیا دچار سکته مغزی می شوند [۹]. ۸۵٪ از این افراد، دچار اختلال در عملکرد بالاتنه می شوند و ۴۰٪ از آن‌ها به‌طور دائم فلج می شوند که بار سنگینی بر دوش خانواده و جامعه تحمیل می‌کنند [۱۰ انجام حرکات توان‌بخشی بلافاصله بعد از سکته‌ی مغزی، تأثیر بسزایی در بهبود بیماران دارد [۳].

سیستمهای رباتیکی افزایش‌دهنده‌ی قدرت انسان نیز جایگاه ویژه‌ای در ارتش، پزشکی و توان‌بخشی دارند. این نوع از اگزواسکلتون‌ها را می‌توان از لحاظ میزان افزایش توان به دو دسته‌ی سیستم‌های کمکی قدرتی[3] و سیستم‌های افزایشی قدرتی[4] تقسیم‌بندی نمود. سیستم‌های کمکی قدرتی برای حل مشکلات افراد سالخورده،

[1] Stroke
[2] Rehabilitation
[3] Power Assistance Systems
[4] Power Augmentation Systems

کم‌توان و معلول به کار می‌روند. درحالی‌که سیستم‌های افزایشی قدرتی در وظایفی که نیاز به نیرویی فراتر از نیروی یک انسان سالم و عادی است کاربرد دارند. به‌عنوان مثال برای بلند کردن اشیا سنگین در کاربردهای نظامی و پزشکی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند [۴]. انگیزه‌ی اصلی کارهای اخیر درزمینه‌ی اگزواسکلتونها یا افزایش توان، پروژه‌ای به نام اگزواسکلتون برای افزایش عملکرد انسان[۱] بود که توسط دارپا[۲] پشتیبانی می‌شد. خروجی این پروژه، اگزواسکلتونهای هالک[۳] و ایکس‌اُاس[۴] بود که برای افزایش ظرفیت حمل تجهیزات توسط سربازان ساخته شد [۳۷]. در راستای همین هدف، اگزواسکلتون هگزار[۵] در کره جنوبی ارائه شد[۳۵].

فناوری‌های اصلی برای توسعه‌ی این ربات‌ها شامل طراحی مکانیزمها، اندازه‌گیری تمایل انسان[۶] و کنترل سیستم ربات- انسان است. برای طراحی موفق چنین ربات‌هایی بایستی زمینه‌ی کاربرد ربات مشخص گردد [۴].

۱-۲-۴. چگونگی برقراری ارتباط انسان- ربات در ربات‌های توان‌بخشی

جنبه‌ی مشخص و کلیدی ربات‌های توان‌بخشی، تعامل ذاتی فیزیکی و شناختی آن‌ها با انسان است که نمونه آن در شکل(۱-۳) نشان داده‌شده است . نقش کلیدی ربات در تعامل فیزیکی انسان - ربات[۷]، تولید نیروهای مکمل برای افزایش محدودیت‌های فیزیکی انسان است که یا به خاطر دلایل طبیعی است و یا به خاطر بیماری و آسیب می‌باشد [۶]. یکی از مزیات بررسی تعامل شناختی انسان- ربات[۸]، این است که به او

[1] Exoskeleton for Human Performance Augmentation
[2] Defense Advanced Research Projects Research Agency (DARPA)
[3] HULC
[4] XOS
[5] HEXAR
[6] Human Intention
[7] physical Human-Robot Interaction (pHRI)
[8] cognitive Human-Robot Interaction (cHRI)