

به نام خداوند اسرار

کنترل رابطه Haptic

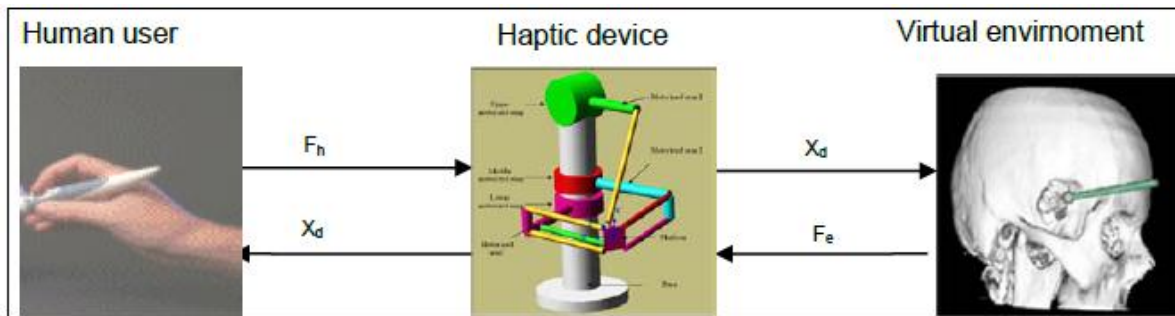
ترجمه و ویرایش :

حامد ترکی

کنترل رابطه Haptic

مقدمه :

رابطه Haptic یک ابزار مکانیکی شبیه ساز رباتی است که ارتباط میان انسان و محیط مجازی یا از راه دور را ممکن می کند، باز خورد رابطه کاربری Haptic در مناسب سازی و جایگاه کاربر معنا پیدا می کند و سپس در فراهم کردن شرایط و تغییرات رفتار ربات نسبت به کاربر بر پایه محیط مجازی که کاربر با آن در ارتباط است است (شکل 1-1).



شکل 1-1

دیگرام بالا نشان می دهد که کاربر باعث ایجاد تغییر در نیروها و تغییر در مکان بازو ها می باشد، رابطه Haptic مکان آخرین تغییرات کاربر را به محیط مجازی انتقال داده تا استیل مجازی را دقیقاً به همان گونه تغییر دهد. هرگاه بازو در محیط مجازی با اَبجک دیگری برخورد یا تماس داشته باشد این تماس از طریق باز خورد های به کاربر از طریق رابطه Haptic به گونه ایس که آن را حس کند ارسال می شود. اگر ارتباطی بین اشیا نبود (محیط آزاد)، که به معنی این است که از محیط مجازی بازخوردی بر اثر حرکت و تاثیر نهایی وجود نداشت، به این معناست که تغییرات فقط به دست کاربر وارد می شود.

کنترل مجازی Haptic ممکن است بروی محیط ها و سیستم عامل های مختلفی طراحی شود که وابسته به ساختار معماری آنها می باشد، در یک اجرای معمولی کنترل Haptic این کنترل احتیاج به بروز رسانی 1مگا هرتز دارد تا به صورت پایدار باقی بماند. در حالی که یک رابطه بصری احتیاج به بروز رسانی اندک در حدود 60 تا 30 هرتز دارد. در بروز رسانی ها با سرعت بالا برای پردازش ها Haptic نیاز به گرافیک دارد (جهت شبیه سازی مجازی محیط جهت لمس محیط) احتیاج داریم طبق شکل 2-1.

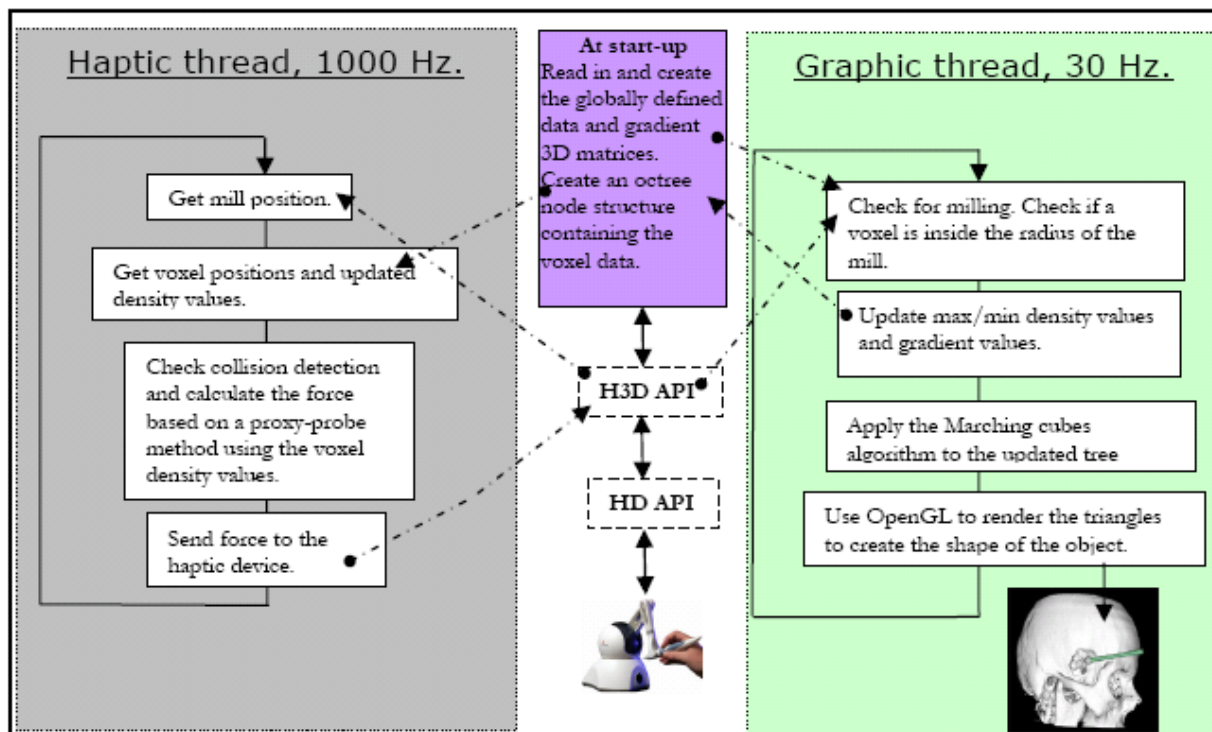
1-1- عوامل موثر برای طراحی کنترل Haptic :

یک رابطه Haptic دارای یک مشکل طراحی می باشد که در مورد احساس موردی در محیط مانند نور و back-drivable (لمس کردن اشیا)، تا کاربر بتواند از طریق باز خورد های سیستم این موارد را حس کند و به میزان آزادی محیط دست پیدا کند.

این موارد تأیید می کند که معیار های طراحی زیر برای طراحی یک سیستم کنترل Haptic باید رعایت شود .

- 1) فضای خالی باید خالی احساس شود (یعنی خالی دیده شود)
- 2) اشیا مجازی مایع باید پر دیده شوند
- 3) فضا های بسته مجازی نباید به راحتی اشباع شوند (کنش گر ها باید نیروی کافی برای احساس کردن اشیا (اجسام) مایع را فراهم آورند)

اولا مهم است که دینامیک های طبیعی رابطه Haptic نباید کاربر را از محیط شبیه سازی شده جدا کند. این مسئله به این دلالت میکند که پائین ترین و کمترین اینرسی، اصطحکاک، مقاومت و... را داشته باشد تا دید بهتری به محیط داشته باشیم و از تولید نیروی اضافه جلوگیری شود (دینامیک های Haptic). دوم این است که وسیله بتواند مقدار کافی از نیروی وارد شده از محیط را از طریق محیط مجازی بری کاربر ارسال کند، کمترین سفتی معمول در سیستم ها 20 N/cm میباشد تا سفتی بدنه و اجسام ملموس باشد، همچنین وسیله باید توانایی تولید نیروی کافی جهت احساس اجسام مجازی مایع یا جامد احساس شوند، تا از اشباع شدن کنش گر ها اجتناب شود



شکل 1-2

اولین معیار می تواند از طریق طراحی بی اراده و یا کنترل فعال انجام شود. نیاز های راست شونده گی به وسیله ابزار و مکانیزم آنها از طریق کنترلر پهن باند انجام می گیرد.

سومین مسئله این است که قوانین کنترلی با سرعت بالایی محاسبه شوند. و هر مقدار نیرو که از طرف کاربر به محیط اعمال می شود به همان میزان در محیط شبیه سازی اعمال شود و همینطور همان میزان نیرو از طریق بازو اعمال شود.

2-1-2- ساختار کنترل :

رابطه Haptic به خانواده ابزار های میکاترونیکی تعلق دارند. عملکرد اساس آن ها که از مزایای سیگنال های مکانیکی بهره برده اند تا ارتباط و کنترل میان کاربر و محیط مجازی را به وجود بیاورند. دو روش اصلی برای کنترل رابطه های haptic وجود دارد:

1-2-2-1- سیستم کنترل امیدانس (ناگذرا) : در کنترل ناگذرای حس حرکتی (مکان و جهت) به وسیله کاربر وارد می شود و نیروهای وارد از رابطه haptic را کنترل می کند. حلقه تعاملی ابتدایی بین کاربر و کنترل سیستم "جابه جایی در خارج از سیستم" است. یک مثال قابل لمس از این مجموعه، سری ابزار های معروف و شناخته شده " PHANTOM " هستند.

2-2-2-1- پذیرش سیستم های کنترل (گذرا) : در کنترل گذرای در ابزار نیروها به وسیله کاربر فرمان داده میشوند و کنترل حرکت (سرعت و مکان) به وسیله کاربر است، حلقه ابتدایی تعاملی اولیه (اساسی) بین کاربر و کنترل سیستم "ورود نیرو-جابه جایی" است مثال ملموس برای کنترل های گذرای مستر Haptic FCS هستند.

3-2-2-1- کنترل سیستم Hybrid : گاهی نیرو از ورودی اضافه ای ربای کنترلر ناگذرای و یا جابه جایی به عنوان ورودی کنترل گذرای استفاده می کند. در این مورد نوع خروجی (نیرو یا موقعیت) استفاده خواهد شد تا کلاس کنترل تعیین شده که معمولاً سیستم کنترل هیبریدی نامیده می شود، مثال ملموس سیستم های کنترل هیبریدی VISHARD6 و سریال haptic هستند.

نوع کنترلی که استفاده می شود بستگی به برنامه ای دارد که در نظر گرفته شده است. کنترل ناگذرای رابط ذاتاً سبک و قابل بازگشت ساخته می شود، آنها به طور کلی نر مواقعی استفاده می شوند که محیط بسیار حساس باشد نظیر بافت های انسانی ، در

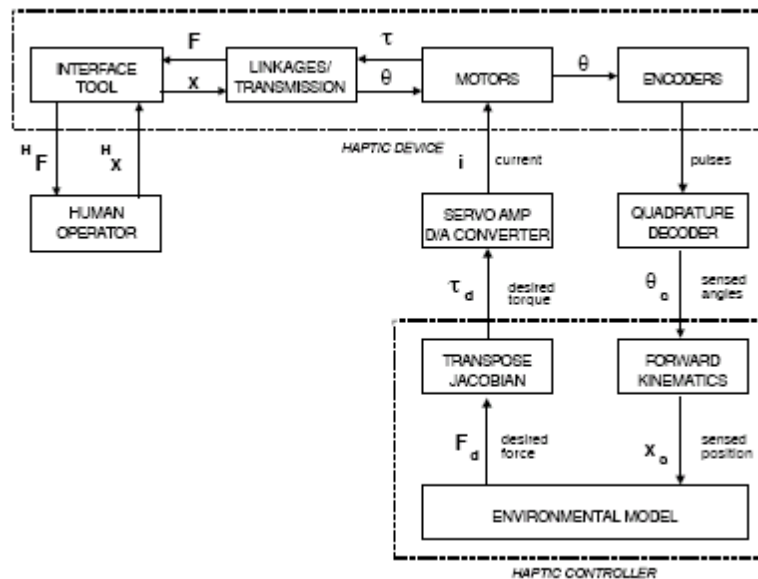
هنگام رندر کردن اشیا مجازی برای سختی یا در امتداد بودن اشیا محدودیت هایی وجود دارد، هر تغییر کوچکی در موقعیت بازو موجب سخت شدن یا به اشکال افتادن ارتباط با اشیا مجازی خواهد شد. این نکته دلالت بر کنترل بالای به دست آمده از اندازه ی نیرو عملکرد دارد، و برای قابل اتکا بودن کنترل بدست آمده نمی تواند نامحدود باشد.

به عبارت دیگر کنترل گذرایی برای درست کردن دسته ای از محدودیت هاست (مخاطب شبیه سازی شده با اجسام سخت) این گونه سیستم ها به شدت وابسته به دنده ها و بنابراین غیر قابل بازگشت به عقب هستند و نیروی زیادی را برای آخرین تاثیرگذار فراهم می کند. تحقیقات بر روی این نوع Haptic ادامه دارد. که موجب افزایش کارایی ابزارهای Haptic خواهد شد. برای درجه بالایی از عمل کرد نمایش گذرایی باید به صورت اساسی اینرسی و استحلاک را پوشش دهد.

سیستم های کنترلی متداول برای ابزارهای Haptic در زیر با جزئیات نشان داده شده اند.

حلقه باز کنترل ناگذرا:

معماری کنترل ساده از دستگاه های لمسی با اینرسی کوچک امپدانس حلقه باز سیستم کنترل می باشد. بلوک دیاگرام یک کنترلر haptic به طور معمول در شکل 1-3 نشان داده شده است



شکل 1-3

وقتی که کاربر حرکتی انجام می دهد ، انکدر ها زاویه روی شفت موتور ها را خوانده و با استفاده از سینماتیک رو به جلو این زاویه ها نقشه برداری برای پیدا کردن موقعیت از X_s بازو. برای مدل مجازی محیط زیست، استفاده از این موقعیت برای به روز رسانی سبک های مجازی و سپس محاسبه نیروهای مورد نظر F_d بر اساس تعامل با اشیاء. نیروی مطلوب با گشتاورهای پیچشی با استفاده از ماتریکس $Jacobian$ مشخص می شود. این گشتاور به موتور در سیستم haptic ارسال میشود. سپس این نیرو و به وسیله حلقه بسته ناگذر تعیین می شود. یک حلقه بسته ناگذرا نشان دهنده رابطه از نیروی خروجی به موقعیت ورودی در تابع انتقال (تبدیل لاپلاس). به بیان دقیق، امپدانس است که ارتباط بین سرعت و قدرت و موقعیت را بیان می کند

$$Z = \frac{F}{V}$$

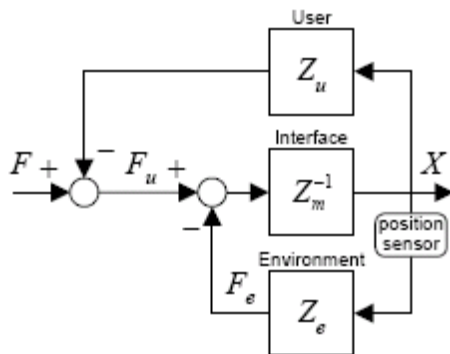
برای طراحی کنترلر حلقه بسته ناگذرا مورد نظر باید نسبت به هر محیطی دوباره به روز رسانی صورت گیرد تا ویژگی ها مورد نظر مخاطب را شامل شود. این ارتباط بین کاربر، محیط مجازی و رابط Haptic است. این رابطه می تواند با تنظیم رابطه Haptic حفظ شود. مدل ناگذرا از رابط Haptic (ZM)، کنترل کننده است که تعیین رابطه بین

نیرو و سرعت است. نکته مهم و قابل ذکر این است که کاربر ناگذرایی حلقه کنترلی را تحت تاثیر قرار می دهد. یک مدل ارتباطی (مخاطب) بین کاربر و رابط Haptic ضروری است تا ویژگی های مورد نیاز نیروی مخاطب تعریف شود (Zu).

مدل دینامیکی کاربر (Zu) می تواند با معادلات دیفرانسیلی زیر ارائه شود :

$$F_u = bx \cdot + kx \text{ or } Z_u(s) = \frac{F_u(s)}{V(s)} = b + \frac{k}{s}$$

در جایی که b و k عملکردی های نوسانات اپراتور و ضرایب سختی بود و S نشان دهنده دامنه لاپلاس. یک مدل مداوم در شکل 4 نشان داده شده است :



- Zu = مقاومت ظاهری در مدل کاربر
- Zm = مقاومت ظاهری در رابط های لمسی
- Ze = مقاومت ظاهری در حالت محیط مجازی
- Fe = تماس با نیروی در محیط مجازی
- Fu = نیروی کاربر
- F = نیروی کل در بازو
- X = موقعیت بازو (خروجی از کنترل)

شکل 4

بلوک دیاگرام در شکل فوق را می توان مورد استفاده قرار گیرد برای تعیین حلقه بسته ناگذرا در رابط کاربری Haptic.

$$X = Z_m^{-1}(F - F_u - F_e)$$

$$F_e = Z_e X \text{ and } F_u = Z_u X$$

حال با جاگذاری مقادیر Fe و Fu د معادله بالا داریم :

$$X = Z_m^{-1}(F - Z_u X - Z_e X)$$

$$(Z_u + Z_e + Z_m)X = F$$

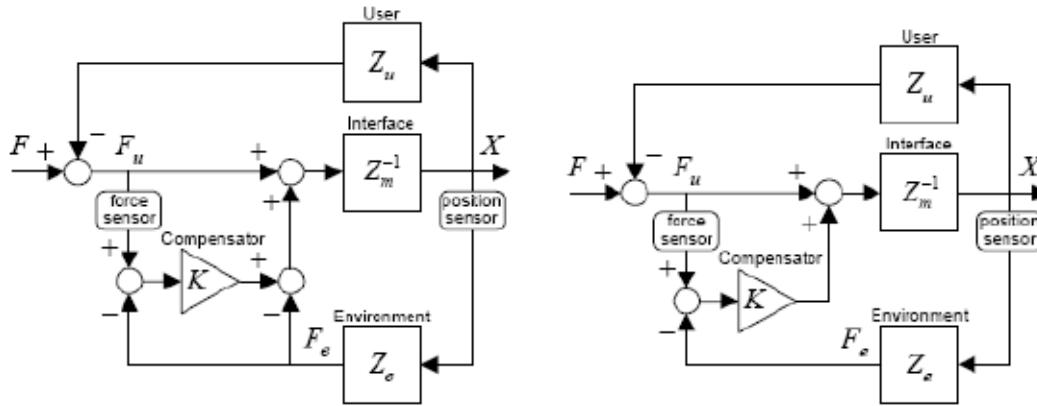
$$\frac{X}{F} = \frac{1}{Z_u + Z_m + Z_e}$$

این معادله بیان می کند که ناگذرایی کل برابر دینامیک های بازو های کاربر ، رابطه کاربری Haptic و محیط مجازی است .

قابل کنترل بودن ناگذرایی با محیط کاری مسئله مهمی در طراحی است، این به این معناست که در هنگام حرکت ازاد کاربر باید احساس کند که رها و آزاد است و در طی تماس کاربر باید قادر به احساس همان نیروها باشد. دینامیک های از سیستم های Haptic به منظور رسیدن به این هدف، باید تصحیح و تقویت شود. با این حال این سیستم کنترل باعث ثبات یک مشکل برای شبیه سازی اینرسی بالا و محیط ، با توجه به اشباع عملگرها، حالت رزونانس دستگاه های لمسی و نمونه برداری از موقعیت سیگنال و غیره می شود.

کنترل ناگذرا با تغذیه از جلو

یک راه حل بریا حل مشکل یاد شده در بالا کنترل جریان می باشد که در شکل زیر بیان شده است. مانند آنچه که توسط Hogan استفاده شده. هدف اصلی از تغذیه جلو (عبارت) از بین بردن و یا کم کردن ضریب اینرسی در دینامیک رابط های Haptic است. نظیر آنچه در شکل می بینید :



شکل 5

شکل بالا می تواند کمک کند تا حلقه بسته ناگذرای را بدست بیاورد در رابطه Haptic نظیر

$$X = Z_m^{-1}(F - F_u + K(F_u - F_e))$$

$$F_e = Z_e X, F_u = Z_u X \text{ and } F_m = KF_u - (1 + K)Z_e X$$

حال با جاگذاری F_u و F_c در معادله بالا خواهیم داشت :

$$\frac{X}{F} = \frac{1}{Z_u + \frac{Z_m}{1+K} + Z_e}$$

یکی دیگر از نسخه ای از این معماری را در شکل 5 نشان داده شده است که از نوع تغذیه از جلو کنترل ناگذرا نامیده می شود. آخرین معادله یک حلقه ناگذرا برابر است با :

$$F_m = K(F_u - Z_e X)$$

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{Z_u + \frac{Z_m}{1+K} + \frac{K}{1+K}Z_e}$$

در این ساختار اینرسی کاهش می یابد با بزرگ کردن K (تا حد ممکن). گرچه این کار سیستم را ناپایدار می کند، همچنین در سنسور های نیرو ایجاد مشکل خواهد کرد .

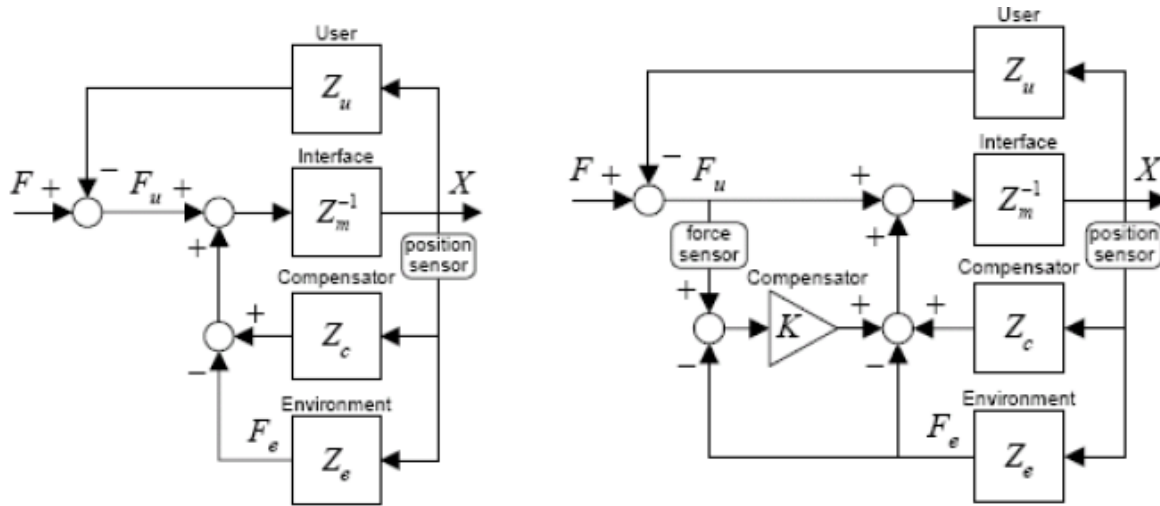
کنترل ناگذرا با فیدبک :

یک راه دیگر برای کاهش اینرسی یک رابط مکانیکی که به وسیله کاربر حس شود حرکت مثبت برگشتی (Z_c) مانند آنچه در شکل 6 نشان داده شده. ناگذرای نهایی این گونه است

$$F_m = K(F_u - Z_e X)$$

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{Z_u + \frac{Z_m}{1+K} + \frac{K}{1+K} Z_e}$$

به منظور از میان بردن دینامیک های سیستم Haptic، Z_c باید برابر Z_m باشد. از این رو طراحی یک مدل خوب برای سفتی، با نوسانات کم، و اینرسی دستگاه لازم می باشد. فرم نهایی با این compensation برابری می کند در غیر این صورت ناگذرایی خروجی محاسبه شده اشتباه خواهد بود. همچنین اصطحکاک ایستایی در این ساختار قابل برابری و یا جایگزینی نیست چون هیچ نیروی نمی تواند وارد بشود مگر این که حرکتی اتفاق بیفتد (در کل سیستم)، تقویت سازی سیگنال نویز شاید مشکلی مرتبط به مدل جبرانی باشد که موجب ایجاد مشکل پایداری می شود.



شکل 6

کنترل ناگذرایی و جبران ساز هیبریدی :

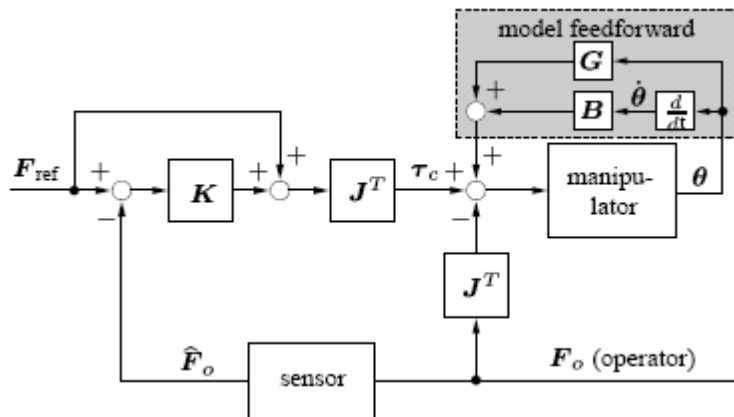
این ساختار ترکیبی از تغذیه از جلو و تغذیه از عقب (جبرانی) می شود. نظیر آنچه در شکل 6 نشان داده شده است بنابراین ناگذرایی نهایی شامل معادله هر دو تغذیه می باشد.

عمل انتقال بازخورد کم کردن اینرسی از رابط مکانیکی و گرفتن نیروی تغذیه جلو برنده به معادله های اینرسی زیر تقسیم می شود :

$$F_m = KF_u - (1+K)Z_e X + Z_c X$$

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{Z_u + \frac{Z_m - Z_c}{1+K} + Z_e}$$

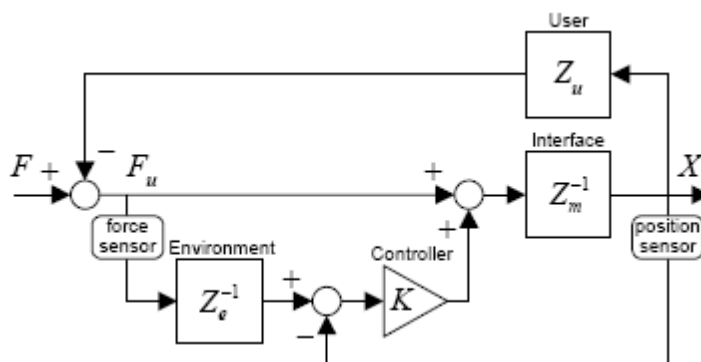
در شکل زیر ساختار کنترل هیبریدی استفاده شده برای کنترل سیستم VISHARD برای 3 سیستم Haptic مورد استفاده قرار می گیرد، این کنترل توسط M.Bus استفاده شده بود، در این مدل تغذیه جلو، G برای نشان دادن جاذبه و B برای اصطحکاک وسیله به کار می رود K جمع نیروهای تغذیه های کنترلر است که طبق قانون کنترل محاسبه می شود.



شکل 7

کنترل گذرایی:

همانطور که در معماری کنترل پذیرش قانون کنترل نیروی و موقعیت معنی کنترل موقعیت از رابط Haptic آن است. این طرح برای وسیله‌هایی با دینامیک بالا و مخاطب سخت مناسب است. ساختاری که بیشتر مورد استفاده قرار گرفته ساختار کنترلی به وسیله Becker و Maples توسعه یافته و با نام "کنترل گذرا با بازخورد موقعیتی" نامیده می‌شود. ساختار در شکل 8 مشخص است اگر مخاطب مجاز وجود نداشته باشد باید دینامیک محیط (Z_e) ، Z_e باید با حرکات آزاد جایگزین گردد.



شکل 8

شکل بالا می‌تواند با موقعیت در محاسبه گذرایی حاصل کمک کند.

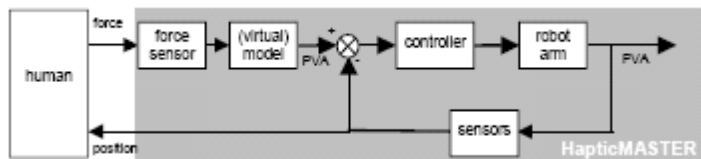
$$F_m = K(F_u Z^{-1}_e - X)$$

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{K + Z_e}{Z_e [Z_u + Z_m] + K [Z_u + Z_e]}$$

اگر در این معادله K به قدر کافی بزرگ شود در مقایسه با Z_e گذرایی احساس شده توسط کاربر تقریباً برابر خواهد بود با:

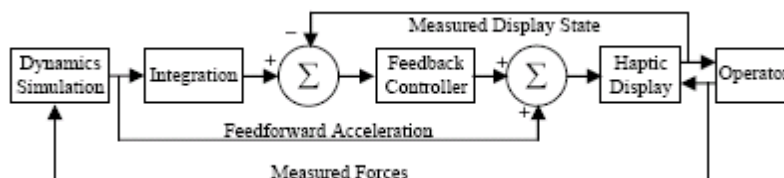
$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{[Z_u + Z_e]}$$

طرح کنترل برای کنترل HapticMaster اجرا شده، HapticMaster نیرو وارد توسط دست انسان را (ترجیحا نزدیک به دست انسان) با استفاده از سنسورها حسی اندازه گیری می کند. مدل مجازی سرعت شتاب و نیروی وارد را محاسبه می کند (PVA)، بردار PVA به رابط ربات Haptic مجازی دستور می دهد تا کنترل حرکت را مانند آنچه در شکل 9 نشان داده شده به دست بگیرد، مدل مجازی در شکل اینرسی را پوسس می دهد تا برای جلوگیری از دستور دادن های زیاد که موجب شتاب بی نهایت می شود جلوگیری شود، هنگامی که حلقه ی کنترلی اصطحکاک واقعی وسیله را بدست می آورد حاصل حرکت راحت و آزاد خواهد بود .



شکل 9

طرح کنترل کلی HapticMaster را نشان می دهد ، شامل حلقه کنترل بیرونی و حلقه فرمان درونی است. مدل مجازی سیگنال سنسور فشار را تبدیل به مکان/سرعت/شتاب یا مجموعه ای از بردارها می کند. حلقه فرمان درونی را تبدیل به روبات PVA مجموعه ای از اعداد می کند. نمایش Haptic های Cobotic مثال دیگری از کنترل گذرا است، در اینجا نیوی F1 مستقیما به ابزار مجازی وارد می شود. شتاب از ابزار مجازی است و سپس از طریق معادلات اویلر ، لاگرانژ محاسبه و یکپارچه جلو می شود. شتاب به وسیله حرکات (جنبش ها) به شتاب آخرین تاثیر گذار انتقال پیدا می کند. این شتاب پیش برنده، شتاب عقب راننده وارد میشود تا اشکالات مختصر به وجود آمده از لحاظ جابه جایی آخرین تاثیر گذار را جبران کند. نتیجه نمایش واقعی شامل دینامیک های ابزار مجازی است شکل زیر نمایانگر طراحی یک کنترل کننده Haptic گذرا می باشد شکل 10.

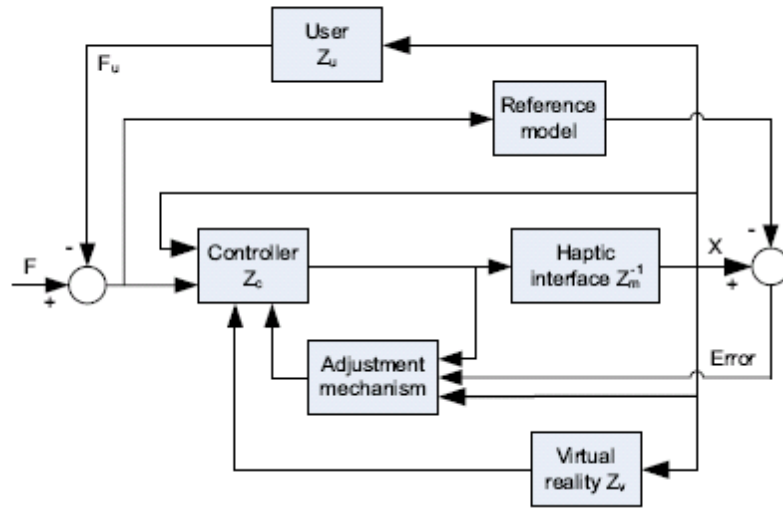


شکل 10

شکل 10 نمایانگر کنترلر گذرای استفاده شده در نمایش Cobotic haptic است، نیروهای اندازه گیری شده ورودی های به شبیه ساز دینامیکی هستند، خروجی شبیه سازی دینامیکی جاری شدن شتاب پیشراننده و مقدار مقایسه ای نمایش Haptic با کنترل باز خورد است.

کنترل وقف پذیر یا تطبیقی:

کنترل های وقف پذیر در محیط های نامشخص و یا شرایط فوق العاده استفاد میشوند. طرح کلی ساختار کنترل وقف پذیر در شکل 11 نشان داده شده است. در این جا واحد تنظیمات تغییرات در طول زمان و مطابق با پارامترها بر کنترل اعمال می کنیم.

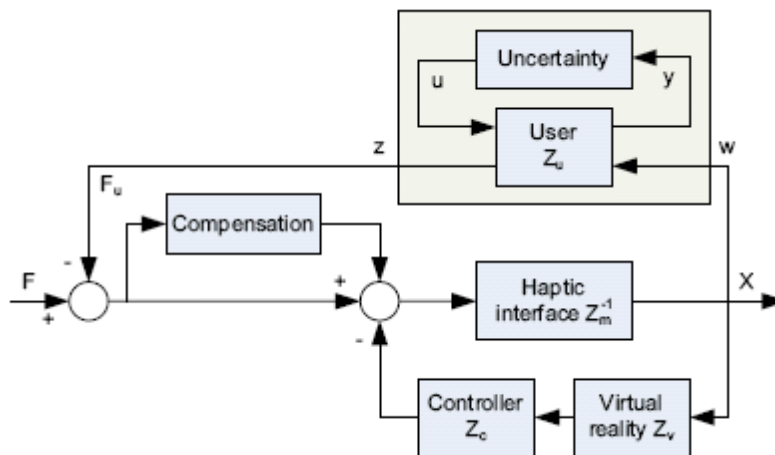


شکل 11

کنترل مقاوم :

کنترل کننده مقاوم قادر است به مقابله با تفاوت بین یک سیستم واقعی و مدل دینامیک مورد استفاده برای محاسبات کنترل، گرچه این تفاوت ها باید دارای ابهام می باشد. از چند طریق می توان یک کنترل مقاوم ساخت، برخی از آنها عبارتند از:

- (1) کنترل تطبیقی با یک ناظر قوی
- (2) H_2 و H_∞
- (3) برآورد پارامتر
- (4) شبکه های عصبی و کنترل فازی و...



شکل 12

کنترل بهینه :

برای کنترل یک سیستم دینامیک و برای تعیین بهترین استراتژی کنترل برای سیستم نیاز به تعیین یک معیار بازده برای سیستم است. هدف از طراحی یک سیستم بهینه به ماکسیم رساندن بهره و به مینیم رساندن هزینه های تولید و نگهداری است. لازم به ذکر است که کنترل بهینه در ارتباط نزدیک با مدل دینامیکی است.

3-1- نتیجه گیری

کنترل ناگزیرا لزوما نیازمند ابزار سنج برای نیرو نیست وکنترل حلقه باز به صورت ساده مورد استفاده قرار می گیرد. سیستم های کنترل ناگذرا معمولا کم وزن ، به شدت قابل برگشت پذیری و دارای مقاومت بالا می باشند. و حجم کمی را رندر می کنند بسیاری از ابزار کنترل ناگذرای کابلی هدایت می شوند. زیرا گزینه خوبی برای رندر کردن حجم کمی از اطلاعات می باشد. اما عملکرد آنها افت می کند وقتی که حجم زیادی از اطلاعات را باید رندر کند یا زمانی که با موارد سختی سرکار داشته باشند، همچنین اضافه کردن کمپلکس و افکتها (حجم و سنسور) ، یک مشکل وجود دارد نیروی فیدبک گذرا وسیله کنترل شده موجب ایجاد نویز بیشتر خواهد. شداگر مشکل مسائله پایداری حل شود به عبارت دیگر وسیله های کنترل گذرا قابلیت شبیه سازی محیط های سخت را دارا خواهد بود و همچنین قابلیت از میان برداشتن (کاستن) اصطحاکو قابلیت دادن حرکات سخت کاملا آزاد به آخرین تاثیرگذار را دارا هستند. برای برای نتیجه بهتر در حرکات حلقه بسته کنترلی دینامیک های غیر طولی (غیر خطی) را در عوض اصطحاک از بین می برد. بنابراین آنها بسیار مناسب برای اجسام سخت و برای محیط های کاری بزرگ و بادینامیک غیر خطی هستند. اگر چه اغلب آنها قادر به پردازش حجم بسیار کم و یا ناگذرا کم نیستند که موجب کاهش پهنای باند حلقه سیستم نیروی فیدبک می شود. همچنین در وسیله های Haptic های حرکت های کنترل شده مطلوب است که علاوه بر از بین بردن اصطحاک، خط سیر حرکتی نیز قابل تشخیص باشد. هنگام تعامل در محیط مجازی خطا حرکت القا شده توسط نیروها با فیزیک بالایی حرکات، جایگزین شود. در نتیجه نیرو های عکس العمل زیادی تولید میشوند. بین ارتباط با اجسام سخت منجر به ایجاد نیرو های بسیار بزرگی می شوند که موجب ناپایداری ، خسارت ، دستکاری شدن یا اشباع شی یا بازوی عمل می شود.

Impedance Control	Admittance Control
Displacement in and force out	Force in and displacement out.
Lightweight, backlash free, stick slip free and renders low mass.	It is not capable of rendering very low mass, meaning inertia will always be felt.
The performance lacks in the region of higher forces, high mass and high stiffness.	Capable of rendering very high stiffness, near to zero friction and zero end-effector weight.

4-1- مشکل پایداری در رابطه های Haptic

در قسمت قبل بحث شد که دقت فیدبک Haptic با افزایش کنترل بهبود می یابد. اگر چه در واقعیت کنترل از حد معین (به دلیل مشکلات عدم پایداری) نمی تواند بیشتر بشود. اصلی ترین منابع برای مسائله پایداری سیستم های Haptic عبارتند از :

- 1) stiction و اصطحاک کولن
- 2) اشباع بازو عامل و پهنای باند
- 3) سنسور نویز
- 4) نمونه گیری و تکمیل کردن گسسته های زمانی
- 5) انعطاف پذیری مفاصل ربات و لینک
- 6) دینامیک سنسورها
- 7) دینامیک محیط مجازی
- 8) دینامیک بازوی دست انسان
- 9) دینامیک نیروی وارد از دست انسان

5-1- مدل دینامیکی رابط های Haptic

مدل دینامیکی یک وسیله Haptic وقتی که کاربر در حال کارکردن با آن است می تواند به صورت سیگنال زیر ارائه می شود

$$f = M(x)\ddot{x} + V(x)\dot{x} + G(x) + F_u$$

هرگاه M ماتریکس جرم باشد، V مقدار نیروی گریز از مرکز و G نیروی گرانش باشد. F_u نیرویی است که مخاطب وارد می کند در حالی که X نشان دهنده مختصات فضا کار است. چرخشی که به موتور (مفصل) متواند طبق ماتریس Jacobian این چنین محدود شود :

$$\tau = J^T f$$

نیروی کاربر مخاطب می تواند به وسیله نیروی وارده ی (U) کنترل شود، اگر بخواهیم رابطه ی haptic را تصحیح کنیم

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{[Z_u + Z_e]}$$

ناگذرایی کاربر مخاطب :

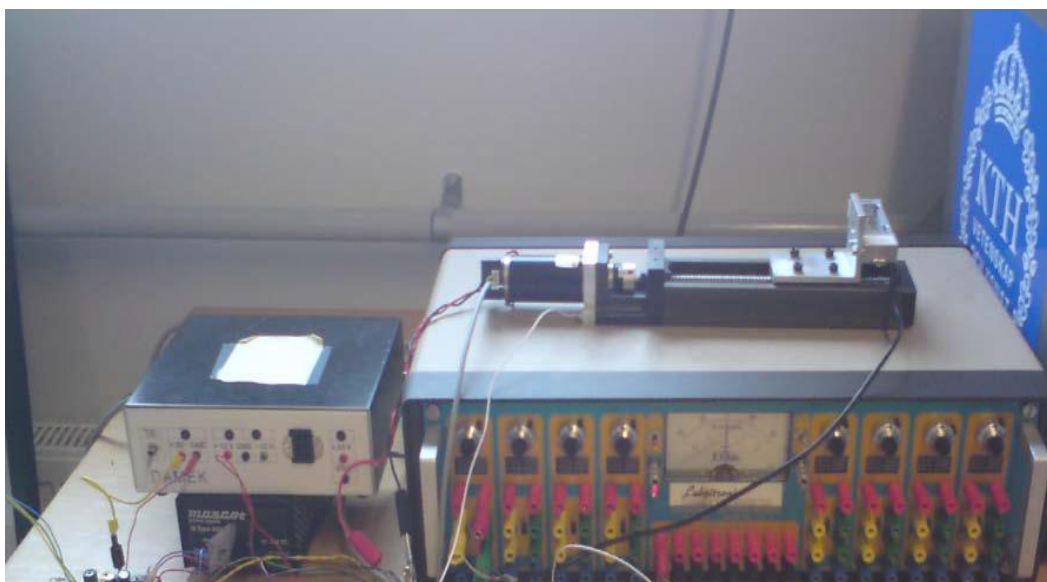
برای احساس واقعی تر نیرو های وارده از طرف مخاطب به چرخش های محیط مجازی نیاز است که ناگذرایی کار بر مخاطب نیز در شمول کنترل ناگذرایی سیستم Haptic باشد .

مدل ناگذرایی کاربر مخاطب بین کاربر و سیستم haptic می تواند به وسیله مدل spring ارائه شود :

$$F_u = b\dot{x} + k\Delta x$$

هرگاه b و k نمایانگر استملاک کاربر و ضریب سختی باشند x نمایانگر سرعت ابزار نقطه مرکزی (TCP) خواهد بود در حالی که Δx نشانگر تغییرات در طول است.

6-1- به کارگیری ساختار کنترلی haptic در وسیله ی haptic با یک درجه آزادی برای انالیز کردن عملکرد ساختارهای haptic و کنترلی یاد شده و برای انجام تحقیقات درباره مساله ی پایداری یک وسیله haptic یک درجه آزادی انتخاب شد. این وسیله شامل یک موتور DC جفت شده با یک بازوی عملگر خطی قابل ادراک حرکت تنها در یک راستا است.



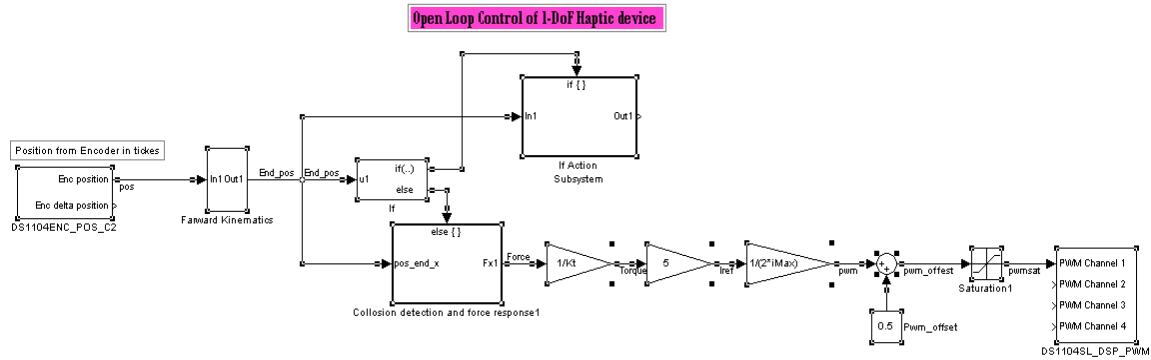
شکل 13

مکانیزم پیچ تویی که در آن استفاده شده برای این است که یک حرکت زاویه دار را به یک حرکت خطی تبدیل کند. سنسور نیرو در TCP قرار داده شده است تا نیرو را اندازه گیری کند .

علاوه بر این رابطه وسیله یا محیط واقعی کارگاه (simulink) از طریق dSpace board در ارتباط است . تشخیص برخورد در محیط Simulink از طریق مدل سازی spring تعریف میشود تا نیروهای وارد شده به سیستم محاسبه شود.

حلقه باز کنترل گذرا

در ساختار بالا ما مقدار Encoder را خوانده و سپس مکان TCP را محاسبه می کنیم با مختصات بدست آمده ، موقعیت TCP به الگوریتم شناسایی فرستاده میشود. اگر برخوردی در پیش بود نیرو را به عقب می راند. نیرو به چرخش و سپس به مرجع برمی گردد.

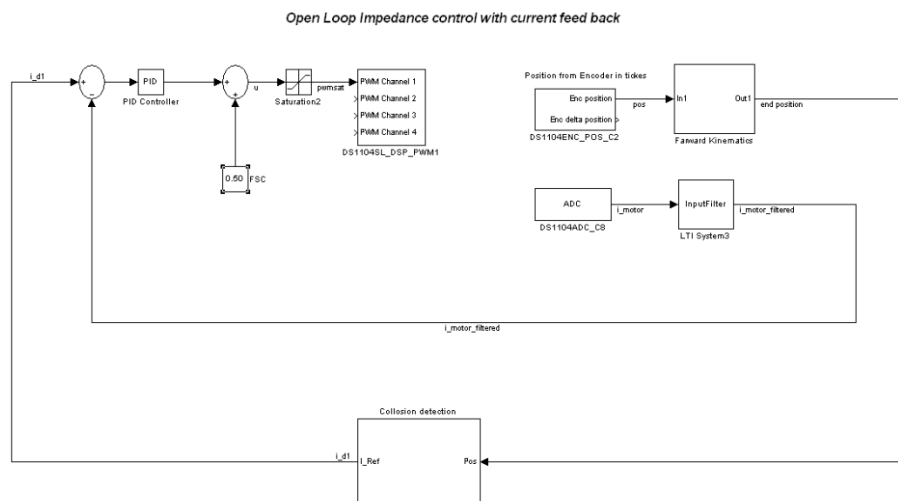


شکل 14

اضافه بر این جریان مرجع های Iref به سیگنال PWM تبدیل می شود تا نیروی لازم را در نقطه TCP وارد کند. ساختار این کنترل بسیار ساده و قابل جابجایی است. اما انتظارات یاد شده در قسمت 1-1 را برآورده نمی کند. وسیله پایدار است و نیازمند نیروی فیدبک سخت مخاطب است. با حرکت آهسته TCP است. با حرکات سریع وسیله پایدار نخواهد بود و همچنین احساس آزاد بودن در فضا خالی را نخواهیم داشت. علاوه بر این یک تاثیر ضد Windup و اصطحکاک بیشتر احساس خواهد شد و نیروی وارد شده از اطراف ، اشیاء و مخاطب را واقعی تر میکند.

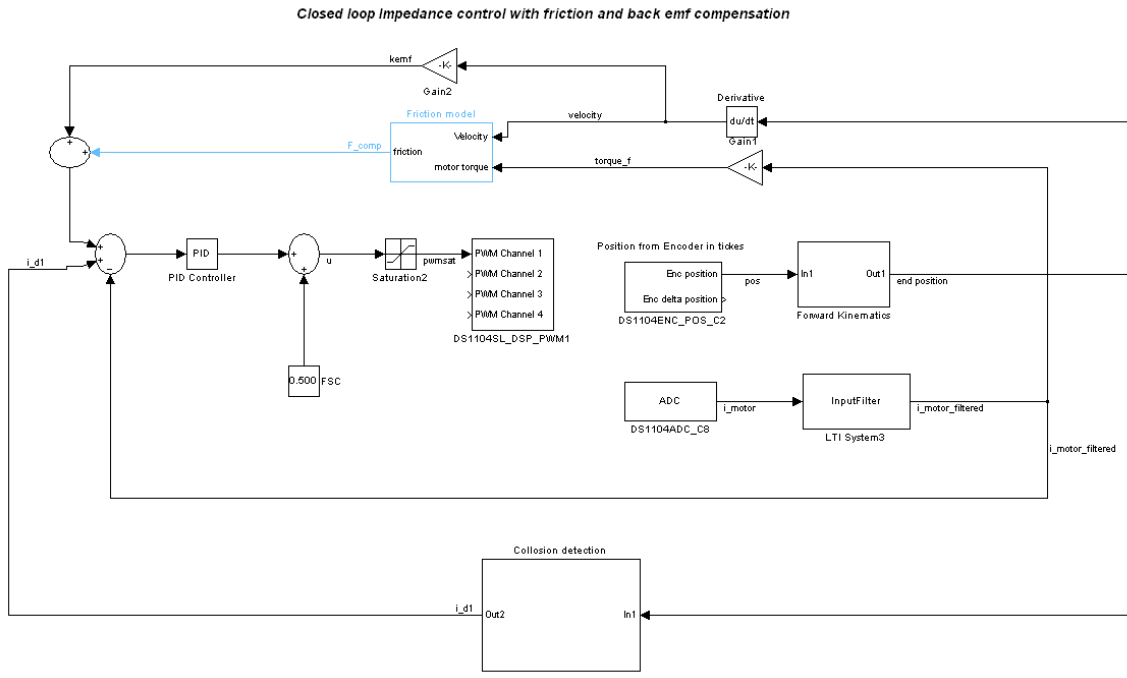
حلقه باز کنترل ناگذرا با فیدبک جریان برای بازوی اجرایی (عامل)

برای بهبود عملکرد حلقه باز کنترل ناگذرا ساختار PI یک کنترل برای فیدبک جریان کار گذاشته شده. جریان واقعی از موتور اندازه گیری می شود (از طریق محافظ افت ولتاژ) جهت کم شدن نویز از فیلتر استفاده می شود. نظیر آنچه در شکل 14 دیدیم. حال وسیله پایدار است اما سریع حرکت می کند اما ما هنوز مشکل Windup را با اثر اصطحکاک که عملکرد را تحت تاثیر قرار می دهد داریم



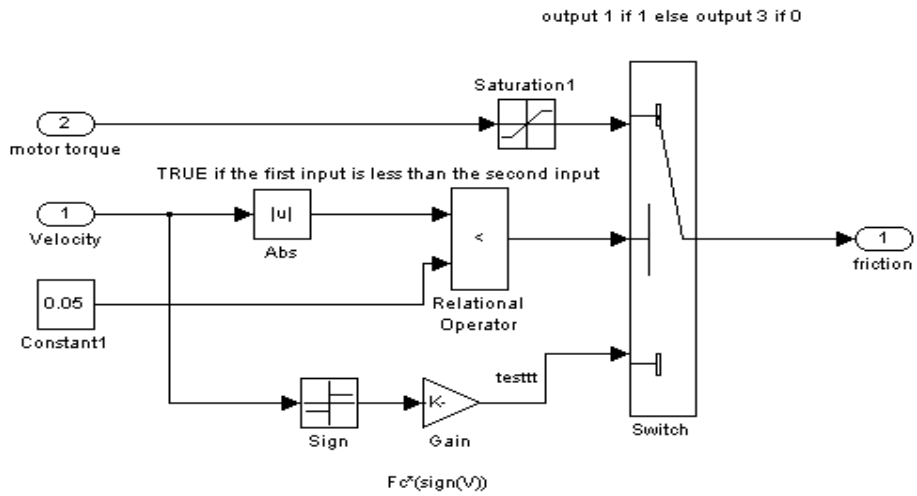
شکل 14

در این ساختار تلاش بر این بود که Back-emf و اصطحکاک که در شکل 15 نشان داده شده است جبران شود. عملکرد وسیله به طرز جدی بهبود پیدا می کند اکنون احساس آزادی در فضا احساس می شود و سختی وقتی که در تعامل با اشیاء هستیم . همچنین در حرکات تند و سریع پایداری باقی می ماند همانطور که در شکل 16 نشان داده شده است.



شکل 15

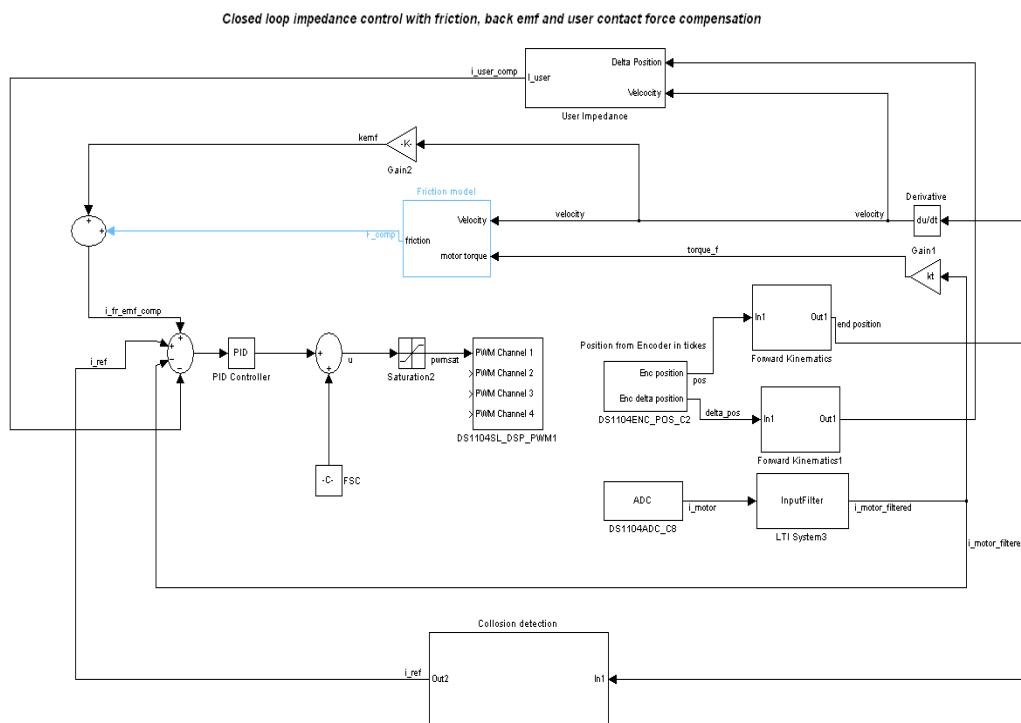
Friction model



شکل 16

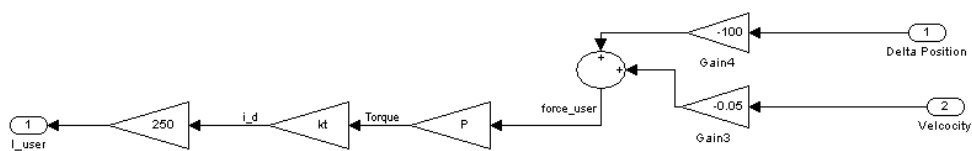
کنترل حلقه بسته ناگذرا با اصطحاک Back-efm و جبران نیروی کاربر:

در ساختارهای کنترلی بالا اثر نیروی وابسته به کاربر وجود دارد. این ویژگی به سیستم اضافه شده تا تاثیر فیدبک واقعی از اشیاء برای کاربر احساس شود. این مدل ساده Spring تا استهلاك را جبران کند. با تمام این تصحیحات عملکرد بهبود یافته و وسیله پایدار می ماند.



شکل 17

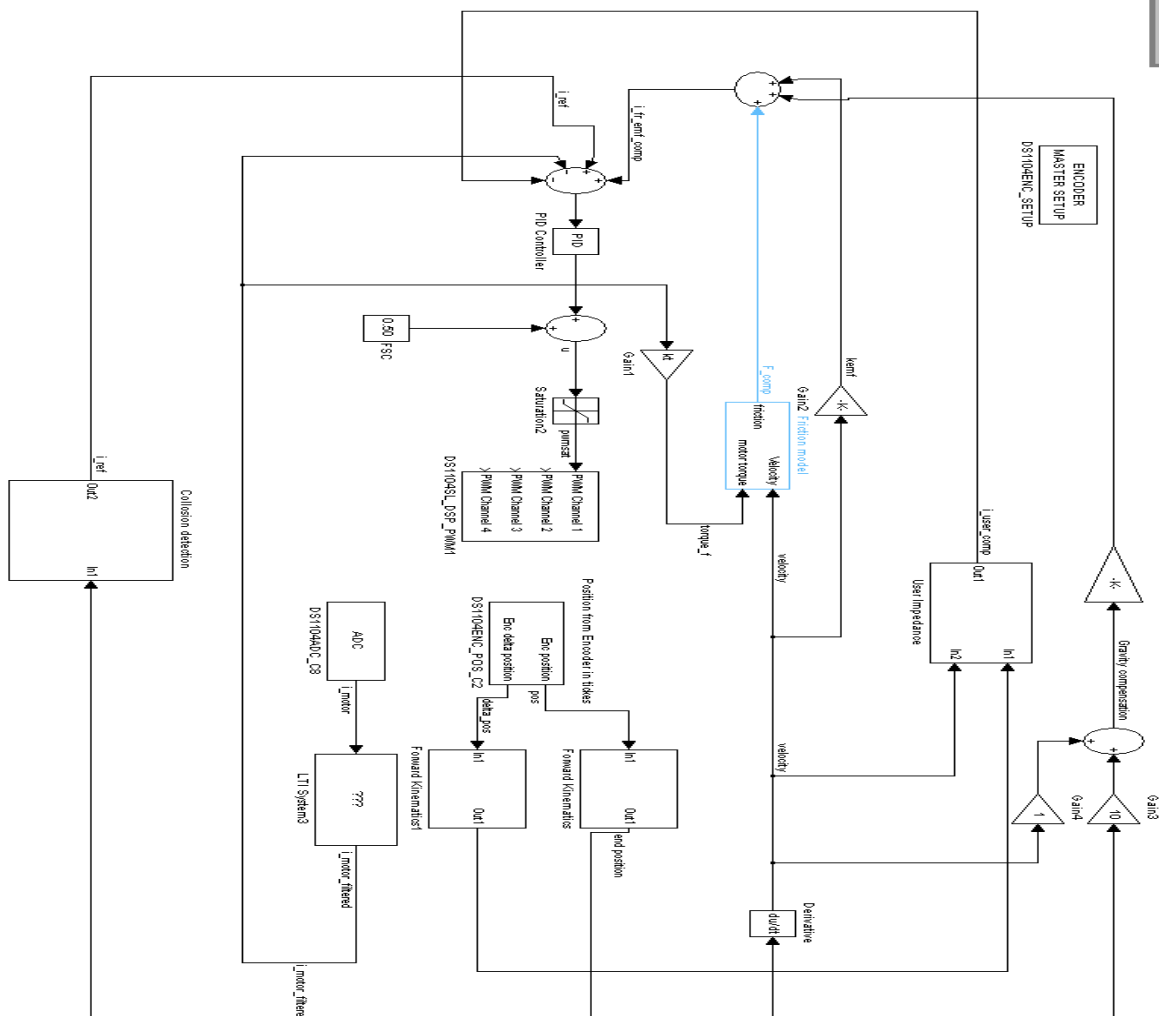
User Contact model



شکل 18

جبران مدت گرانش

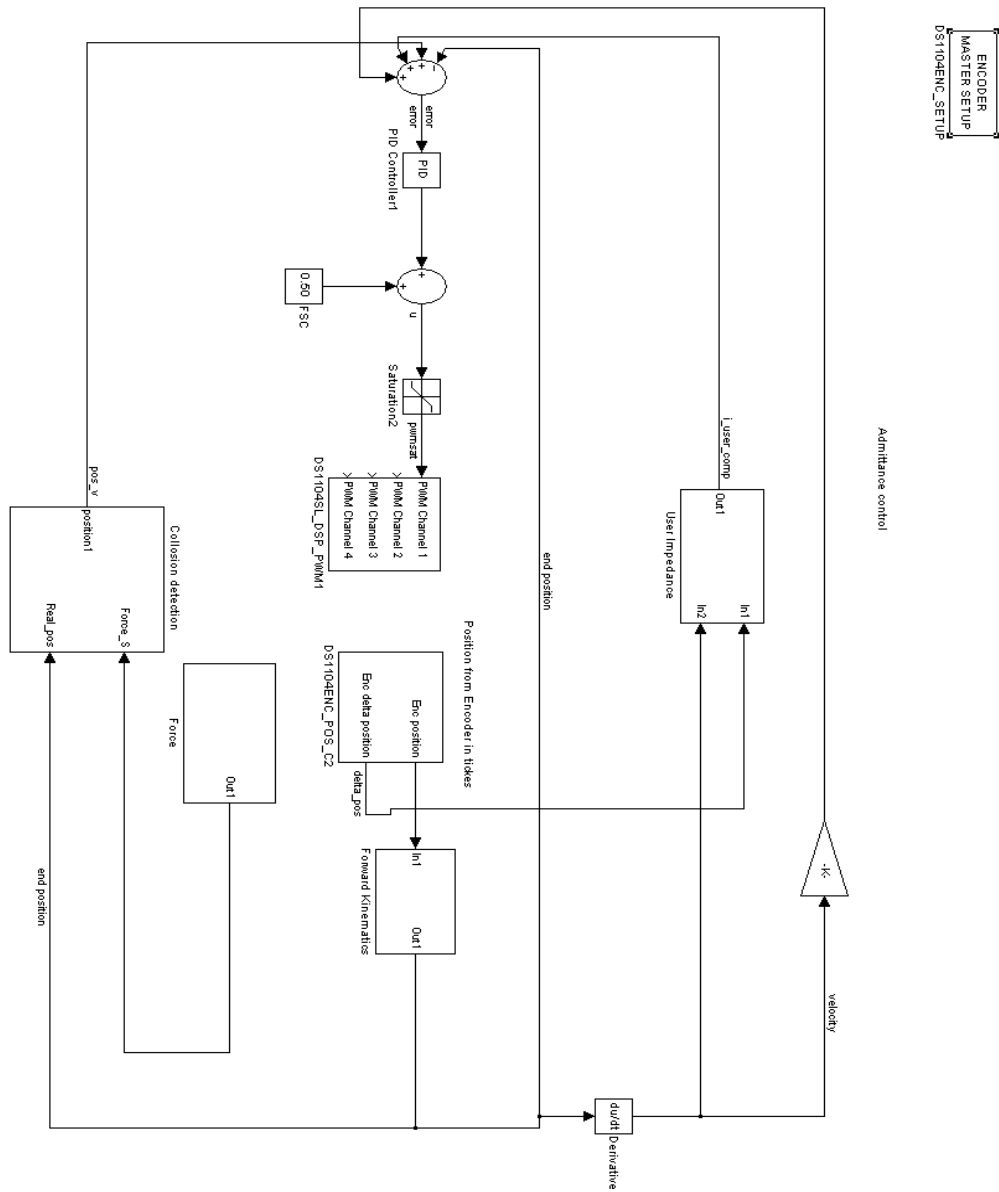
در شکل بعدی ما مدل برای مدت گرانش جبران میبینیم .



کنترل گذرا

همانگونه که در ساختار کنترل گذرا قانون کنترل نیرو بر مبنای ورود نیرو و خروج موقعیت مکانی (مختصات) یعنی بر حسب موقعیت رابطه کاربری Haptic را کنترل می کند. این طرح معمولاً مناسب برای وسیله های با دینامیک بالا و مخاطبین سخت است. در این ساختار موقعیت اندازه گیری می شود و برای کنترل وسیله استفاده می شود و بر خلاف کنترل ناگذرای واحد نیروی وارد بر TCP اندازه گیری شده و بعد به واحد پردازشی ارسال می شود وقتی که برخوردی وجود ندارد (حرکت آزاد) نیرویی از طرف محیط مجازی وارد نمی شود و نیروی صفر برای مرجع ارسال می گردد در حالی که وقتی برخوردی اتفاق می افتد مدل Spring برای محاسبه تغییرات در موقعیت سیگنال نیرو استفاده می شود.

$$\Delta X = -\frac{Fs}{K}$$



تغییر در موقعیت در واقع یک تغییر سیگنال مرجع می باشد که به کنترلر فرستاده می شود و نیروهای و یا احساس از مخاطبین را به کاربران انتقال می دهد. این ساختار بسیار مفید می باشد در صورت تماس با ما جسم. همچنین برای جبران مدل کاربر و دینامیک دستگاه ساخته شده است و همین طور احساس تماس با نیروهای واقعی از طرف محیط مجازی می باشد.

References

- [1] T. Massie and J. Salisbury, "The PHANTOM haptic interface: A device for probing virtual objects," in Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting, Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems.
- [2] Magnus G. Eriksson, Mark Dixon and Jan Wikander " A Haptic VR Milling Surgery Simulator Using High-Resolution CT Data" 14th MMVR conference in Los Angeles, USA, January, 2006.
- [3] R. Q. van-der-Linde and P. Lammertse and E. Frederiksen and B.Ruiter "The HapticMaster, a new high-performance haptic interface". EuroHaptics Conference. 2005.
- [4] M. Ueberle and N. Mock. VISHARD10. "A Novel Hyper-Redundant Haptic Interface." In Proc. 12th Int. Symp. Haptic Interfaces Virtual Environ. Teleoperator Syst. 2004. pp. 58-65.
- [5] Park.H and J.M.Lee "Adaptive impedance control of a haptic interface" Mechatronics 14 (2004) 237–253
- [6] C. Carignan and K. Cleary, "Closed-loop force control for haptic simulation of virtual environments," Haptics-e, vol. 1, no. 2, 2000, <http://www.haptics-e.org>.
- [7] Hogan N., 'Impedance Control "An Approach to Manipulation: Part I-Theory, Part II-Implementation, Part III-Applications'. Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control. (1985).
- [8] Mildred J. Puerto, Emilio S´anchez and Jorge Juan Gil "control algorithm for haptic interaction and modifying the dynamical behavior of the interface", Proceedings of ENACTIVE05 2nd International Conference on Enactive Interfaces Genoa, Italy, November 17th-18th, 2005
- [9] Mildred J. Puerto, Emilio S´anchez and Jorge Juan Gil " Control strategies applied to kinesthetic haptic devices "Applied Mechanics Department, CEIT, E-20018 San Sebastian, Spain
- [10] J. Maples and J. Becker, "Experiments in force control of robotic manipulators," in Proceedings of the 1986 IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp. 695–702.
- [11] H. Maass, B.A. Chantier, H. K. Çakmak and U. G. Kühnapfel "How to add a force feedback to surgery simulator " IS4TM 2003, LNCS 2673, pp. 165 –174, 2003. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003
- [12] Burdea, G. "Force and Touch Feedback for Virtual Reality". John Wiley and Sons (1996), ISBN: 0-471-02141-5
- [13] E. L. Faulring, J. E. Colgate and M. A. Peshkin. "The Cobot Hand Controller: Design, Control and Performance of a Novel Haptic Display". The International Journal of Robotics Research. 2006. vol. 25. pp. 1099-1110.
- [14] Hogan N., 'Impedance Control "An Approach to Manipulation: Part I-Theory, Part II-Implementation, Part III-Applications'. Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control. (1985).
- [15]
- [16] Andersson, K., Khan, S. "Investigation of parallel kinematic mechanism structures for haptic devices", presented at 2nd Nordic Conference on Product Lifecycle Management – NordPLM'09, Gothenburg January 2009.

```

%*****
*****
% Modeling of 1-DoF haptic device driven by Dc motor and having load as
link .
% P controller with low pass filter for current
%*****

```

```

*****
%% Input parameter or specification identified
clear all
clc
s=tf('s')
n=1; %gear ratio
P=0.009/(2*pi) %Pitch m/rad.
kt=52.5*1e-3 %torque constant Nm/A
ke=0.0524 %rad/V
dm=0.03 %damping Nm/s at motor side
Imax=20.3 %max current ampere
Jr=7.2*1e-6; %inertia of the motor rotor Kg*m2
Jc=7.2*1e-6; %inertia of the coupling Kg*m2
Js=800*1e-6; %inertia of the ball screw Kg*m2
M=0.511 %mass load+nut+screws
Jtot=M*P^2+(Js+Jr+Jc) %total inertia Kg*m2
r=2.07 %Resistance ohm
L=0.620*1e-3 %inductance (H)
Fc=0.005 %static friction N
Umax=15.4; %max voltage to motor
iMax = 0.1;
Ki = 1;
xmax=25; % virtual wall
xmin=-25; % virtual wall
kspring=1000000; %Spring constant for collosion model
%% Model of the motor between voltage and output current

% B=1/L
% A=s+(r/L)
% omegal=300;
% omega2=250;
% A0=s+omegal
% Am=s+omega2;
% s0 =(omegal*omega2*L);
% s1 =(-r+omegal*L+omega2*L);
% S=s1*s+s0
% R=s
% t0=1/dcgain(B/Am)
% T=A0*t0
% Gc=minreal((B*T)/(A*R+B*S))
% figure(1) % bode diagram of Closed loop
system
% margin(Gc)
% figure(2) % Step diagram of Closed loop
system
% step(Gc);
% stepinfo(Gc)
%% filter for the measure current

```

```
InputFilter=(1/(s/37+1))

%% filter for the measure force

InputFilter_force=(1/(s/10+1))
%% PI current controller with filter

% zeta=0.07;
% omega1=1;
% omega2=6;
%
%
% Am = s+omega1;
% Ao = s^2+2*zeta*omega2+omega2^2;
%
% r0 = (omega1*L-r)/L;
% s0 = 2*omega1*omega2*L*zeta+omega1*omega2^2*L;
% s1 = (2*zeta*omega2*L^2+omega2^2*L^2-r*omega1*L+r^2)/L;
% S=s1*s+s0
% R=s*(s+r0)
% t0=1/dcgain(B/Am)
% T=A0*t0
% Gc=minreal((B*T)/(A*R+B*S))
% figure(3) % bode diagram of Closed loop
system
% margin(Gc)
% figure(4) % Step diagram of Closed loop
system
% step(Gc);
% stepinfo(Gc)
```

%% %