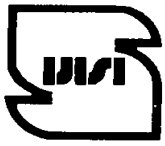
INSO

5241-910

1st.Edition
2016

Identical with
ISO 9241-910:2015

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۵۲۴۱-۹۱۰

چاپ اول

۱۳۹۵

# ارگونومی تعامل انسان- سیستم
# قسمت۹۱۰: چارچوبی برای تعامل حس‌لامسه و هپتیک

# Ergonomics of human – system interaction Part 910:Framework for tactile and haptic interaction

ICS:13.180;35.180

**سازمان ملی استاندارد ایران**

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج ، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸- ۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.org.ir

وبگاه: http://www.isiri.gov.ir

**Iranian National Standardization Organization (INSO)**

No.1294 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.org.ir

Website: http://www.isiri .gov.ir

## به نام خدا

## آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استانداردایران به موجب بندیک مادهٔ ۳قانون اصلاح قوانین ومقررات مؤسسهٔاستاندارد و تحقیقات صنعتی ایران،مصوب بهمن ماه۱۳۷۱تنهامرجع رسمی کشوراست که وظیفهٔ تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد-کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد(ISO)[1]،کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی(OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی(CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقاء سطح استانداردهای ملی از دیگر وظایف این سازمان است.

---

1- International Organization for Standardization
2- International Electrotechnical Commission
3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4-Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

## کمیسیون فنی تدوین استاندارد

## «ارگونومی تعامل انسان - سیستم، قسمت ۹۱۰: چارچوبی برای تعامل حس‌لامسه و هپتیک»

| **رئیس:** | **سمت و/یا نمایندگی** |
| --- | --- |
| درب امامیه، گلدیس<br>(دکتری مهندسی پزشکی) | هیأت علمی- دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز |
| **دبیر:** | |
| توکلی گلپایگانی، علی<br>(دکتری مهندسی پزشکی) | هیأت علمی- گروه پژوهشی مهندسی پزشکی – پژوهشگاه استاندارد |
| **اعضاء**: (اسامی به ترتیب حروف الفبا) | |
| احمدیه، هاجر<br>(کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی) | کارشناس اجرایی - شرکت پرشیا آزما سیستم |
| اسکوئی‌زاده ، رضا<br>(کارشناسی‌ارشد ارگونومی) | مدرس گروه ارگونومی - دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی |
| پرند، فرشته آزادی<br>(دکتری نرم افزار) | هیأت علمی - دانشگاه علامه طباطبایی |
| پورصادقیان، محسن<br>(دکتری مهندسی بهداشت حرفه‌ای - گرایش ارگونومی) | هیات علمی- دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی<br>عضو انجمن ارگونومی |
| علی رفیعی<br>(دکتری مهندسی پزشکی) | هیات علمی - دانشگاه آزاد اسلامی |
| سیف آقایی، فریده<br>(کارشناسی ارشد بهداشت حرفه‌ای) | کارشناس مسئول مرکز سلامت محیط کار- وزارت بهداشت و درمان و آموزش پزشکی |
| طباطبایی قمشه، فرهاد<br>(دکتری مهندسی پزشکی) | هیأت علمی - دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی |
| صادقی، سعید<br>(کارشناسی ارشد مدیریت) | مدیرکل توسعه منابع انسانی و امور پشتیبانی- سازمان ملی استاندارد ایران |

| **اعضاء**: (اسامی به ترتیب حروف الفبا) | **سمت و/یا نمایندگی** |
| --- | --- |
| فرجی، رحیم<br>(کارشناسی ارشد شیمی) | کارشناس مسئول گروه پژوهشی مهندسی پزشکی– پژوهشگاه استاندارد |
| معینیان، سید شهاب<br>(کارشناسی ارشد شیمی) | کارشناس مسئول گروه پژوهشی مهندسی پزشکی – پژوهشگاه استاندارد |
| **ویراستار:** | |
| فرجی، رحیم<br>(کارشناسی ارشد شیمی) | کارشناس مسئول گروه پژوهشی مهندسی پزشکی- پژوهشگاه استاندارد |

# فهرست مندرجات


| عنوان | | | صفحه |
|---|---|---|---|
| پیش‌گفتار | | | ح |
| مقدمه | | | خ |
| ۱ | هدف و دامنه کاربرد | | ۱ |
| ۲ | اصطلاحات و تعاریف | | ۱ |
| ۳ | مقدمه‌ای بر هپتیک | | ۶ |
| ۴ | شناسایی حس هپتیک در انسان | | ۶ |
| ۴-۱ | | اهمیت حس هپتیک | ۶ |
| ۴-۲ | | هپتیک و بینایی | ۷ |
| ۴-۳ | | شناسایی دستی اشیاء | ۷ |
| ۴-۴ | | تمرین دستورالعمل‌های شناسایی | ۹ |
| ۴-۵ | | مشکلات بررسی اجمالی یک صحنه هپتیک | ۹ |
| ۴-۶ | | حداقل تحریک فیزیکی: آستانه مطلق | ۹ |
| ۴-۷ | | حداقل تفاوت مورد نیاز برای تشخیص | ۱۰ |
| ۴-۸ | | تشخیص خصوصیات هندسی اشیاء | ۱۰ |
| ۴-۹ | | تشخیص وزن | ۱۰ |
| ۴-۱۰ | | تشخیص خواص جنس ماده | ۱۰ |
| ۴-۱۱ | | تعداد و اندازه سطوح تماس در وسایل لامسه/هپتیک | ۱۱ |
| ۴-۱۲ | | خلاصه | ۱۱ |
| ۵ | چه زمانی تعاملات لامسه/هپتیک استفاده می‌شود | | ۱۲ |
| ۵-۱ | | کلیات | ۱۲ |
| ۵-۲ | | در دسترس بودن | ۱۲ |
| ۵-۳ | | تعاملات میزکار | ۱۳ |
| ۵-۴ | | تعاملات سیار | ۱۳ |
| ۵-۵ | | رباتیک | ۱۵ |
| ۵-۶ | | پزشکی | ۱۶ |
| ۵-۷ | | بازی | ۱۷ |

| عنوان | | صفحه |
|---|---|---|
| | هنر و خلاقیت | |
| ۵-۸ | | ۱۸ |
| ۵-۹ | کاربردهای چند کیفیتی و شبیه‌سازها | ۱۹ |
| ۶ | طراحی تعاملات لامسه/هپتیک | ۲۰ |
| ۶-۱ | راهنمای طراحی برای تعاملات لامسه/هپتیک | ۲۰ |
| ۶-۲ | طراحی فضای لامسه/هپتیک | ۲۱ |
| ۶-۳ | آدرس‌دهی و توان تفکیک در تعامل لامسه/هپتیک | ۲۳ |
| ۷ | تعامل کاربر – اهداف پایه | ۲۴ |
| ۷-۱ | کلیات | ۲۵ |
| ۷-۲ | جستجو | ۲۵ |
| ۷-۳ | مرور کلی | ۲۵ |
| ۷-۴ | ردیابی | ۲۶ |
| ۷-۵ | هدف‌گذاری | ۲۶ |
| ۷-۶ | انتخاب | ۲۶ |
| ۷-۷ | انجام کار با مهارت | ۲۷ |
| ۸ | عنصر تعاملی لامسه/هپتیک | ۲۸ |
| ۸-۱ | کلیات | ۲۹ |
| ۸-۲ | اثرات عملگر لامسه/هپتیک | ۲۹ |
| ۸-۳ | خواص لامسه/هپتیک اشیاء | ۳۱ |
| ۸-۴ | عناصر کنترل | ۳۴ |
| ۸-۵ | استفاده از واسطه‌های چند نقطه تماسی | ۳۴ |
| ۸-۶ | عناصر ترکیبی و اثرات | ۳۴ |
| ۸-۷ | قابلیت تمیز | ۳۴ |
| ۹ | محدوده وسایل واسط لمسی/هپتیک | ۳۵ |
| ۹-۱ | کلیات | ۳۵ |
| ۹-۲ | معیارهای انتخاب | ۳۵ |
| پیوست الف | وسایل حس لامسه | ۴۸ |
| پیوست ب | وسایل حس لامسه/هپتیک با بازخورد نیرو | ۵۳ |
| کتاب‌نامه | | ۵۸ |

## پیش‌گفتار

استاندارد «ارگونومی تعامل انسان- سیستم، قسمت۹۱۰: چارچوبی برای تعامل حس‌لامسه و هپتیک» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی/منطقه‌ای به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تهیه و تدوین شده، در پانصد و نود و یکمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد مهندسی پزشکی مورخ ۱۳۹۵/۰۴/۱۴تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم وخدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدیدنظر درکمیسیون فنی مربوط، موردتوجه قرارخواهدگرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی/منطقه‌ای زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی/منطقه‌ای مزبور است:

ISO 9241-910:2011, Ergonomics of human- system interaction - Part 910: Framework for tactile and haptic interaction

**مقدمه**

امروزه علم هپتیک و حس‌لامسه مصنوعی به طور فزاینده‌ای در حال گسترش می‌باشد و نماینده وجوه تعاملی در سیستم‌های رایانه‌ای مانند محیط‌های محاسباتی با رویکرد تخصصی (به عنوان مثال شبیه‌سازها) و تکنولوژی‌های کمک‌کننده بشمار می‌آید.

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین یک چارچوب برای درک و فهم جنبه‌های مختلف یک سیستم تعاملی هپتیک یا حس‌لامسه می‌باشد.

این استاندارد برای انواع سیستم‌های تعاملی با استفاده از وسایل هپتیک/حس لامسه و تعامل آنها کاربرد دارد.

این استاندارد یک قسمت از مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۵۲۴۱، می‌باشد.

# ارگونومی تعامل انسان- سیستم، قسمت ۹۱۰: چارچوبی برای تعامل حس‌لامسه و هپتیک

## ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین چارچوبی برای درک و فهم جنبه‌های مختلف یک سیستم تعاملی هپتیک/حس‌لامسه می‌باشد. این استاندارد در برگیرنده تعاریف، مدل‌ها و ساختارها بوده و ارائه‌دهنده برخی توضیحات در ارتباط با سری استانداردهای "900" -ISO 9241 می‌باشد.

این استاندارد همچنین ارائه‌دهنده راهنمایی‌هایی برای شکل‌های مختلف تعامل با کاربردهای متنوع برمبنای اهداف استفاده‌کننده می‌باشد.

این استاندارد در انواع سیستم‌های تعاملی با استفاده از وسایل هپتیک یا حس‌لامسه و تعاملات مربوط به آنها کاربرد دارد.

این استاندارد به صورت خاص به تعاملات حسی حرکتی مانند حالت بدن اشاره نمی‌کند اگرچه ممکن است برای درک چنین تعاملاتی مفید باشد.

## ۲ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به‌کار می‌رود.

**۱-۲**

**هپتیک (اسم)**

**haptics**

فعالیت حرکتی و یا حسی پوست ماهیچه‌ها، مفاصل و تاندون‌ها می‌باشد.

**یادآوری-** هپتیک متشکل از دو قسمت حس‌لامسه و حس جنبشی می‌باشد.

**۲-۲**

**صفت مربوط به هپتیک**

**haptic**

مربوط به هپتیک

اگرچه تفاوتی بین کلمه هپتیک و حس‌لامسه در تعاریف بیشتر لغت‌نامه‌ها وجود ندارد در حوزه تخصصی هپتیک، پژوهشگران و توسعه‌دهندگان، هپتیک را برای کلیه حس‌های مربوط به هپتیک به کار می‌برند، درحالی‌که حس‌لامسه محدود به تحریک مکانیکی پوست می‌باشد. در این استاندارد کلمه هپتیک پوشش‌دهنده همه حواس لمسی است و حس‌لامسه به صورت تخصصی‌تر به کار می‌رود. همچنین هر دو کلمه با همدیگر می‌تواند برای کمک در تحقیقات نیز استفاده شود.

**۳-۲**

**تماس**

**touch**

حس انتقال یافته از گیرنده‌های پوست را گویند.

**یادآوری-** گیرنده‌های پوستی برای درک و حس تماس مورد استفاده قرار می‌گیرند.

**۴-۲**

**پوستی**

**cutaneous**

هر آنچه مربوط به پوست است.

**یادآوری-** گیرنده‌های پوستی به تحریک‌های مکانیکی و تغییرات دما پاسخ می‌دهند.

**۲-**

**۵ حس لامسه**

**tactile**

حس مربوط به تماس را گویند.

**۶-۲**

**حس لرزش**

**vibrotactile**

تحریکات مربوط به ارتعاش و لرزش پوست را گویند.

**مثال:** یک تلفن همراه از تحریک ارتعاش و لرزش برای آگاهی کاربر استفاده می‌کند.

**۷-۲**

**حس حرکت (اسم)**

**kinaesthesis**

فعالیت حرکتی و حسی در ماهیچه ها، مفاصل و تاندون‌ها را گویند.

**یادآوری۱-** حس حرکتی شامل داده‌های ورودی و خروجی است.

**یادآوری۲-** دریافت‌کننده‌های حسی ماهیچه‌ها، مفاصل و تاندون‌ها برای درک حس حرکت مورد استفاده قرار می‌گیرند.

**یادآوری۳-** ماهیچه‌ها، تاندون‌ها و مفاصل برای فعالیت‌های حرکتی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

**۸-۲**

**صفت مربوط به حسی-حرکتی**

**kinaesthetic**

هر آنچه مربوط به فرآیند حسی-حرکتی را گویند.

**یادآوری۱-** انواع حس‌های حرکتی متاثر از نیرو، حرکت، موقعیت، جابجایی و زاویه مفاصل را گویند.

**یادآوری۲-** انواع فعالیت‌های حسی-حرکتی شامل حرکت، اعمال نیرو و گشتاور و دستیابی به یک موقعیت جابجایی و زاویه مفصلی را شامل می‌شود.

**یادآوری۳-** حس عمقی[1] (تحریکی که از داخل بدن منشاء می‌گیرد) به حس حرکتی و موقعیت بدن شخص بر می‌گردد. این اصطلاح اغلب به جای حس-حرکت استفاده می‌شود، اگرچه قبلا بیشتر معطوف به حرکت بود. حس تعادل، به عنوان مثال ممکن است بیشتر در حوزه حس عمقی قرار گیرد تا در حوزه حس-حرکت باشد.

**۹-۲**

**بازخورد نیرو**

**force feedback**

نیرویی که به کاربر ارائه و توسط او تشخیص داده می‌شود.

**یادآوری-** اگرچه این لزوما شامل کلمه بازخورد نمی‌شود ولی اصطلاح "بازخورد نیرو" به طور معمول در این متن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

**۱۰-۲**

**توهم ادراکی**

**perceptual illusion**

درکی که به اندازه‌گیری فیزیکی منبع تحریک مربوط نیست.

**۱۱-۲**

**تطابق حسی**

**sensory adaptation**

تغییرات در طول زمان در پاسخ دهی یک سامانه حسی به یک تحریک ثابت را گویند.

---

1- Proprioception

**۱۲-۲**

**پوشش مکانی (لامسه/ هپتیک)**

**(tactile/haptic) spatial masking**

این اثر وقتی اتفاق می‌افتد که یک تحریک انحرافی، که به تحریک هدف نزدیک است باعث کاهش درک تحریک مکانی هدف می‌شود.

**۱۳-۲**

**پوشش زمانی (لامسه/ هپتیک)**

**(tactile/haptic) temporal masking**

این اثر وقتی اتفاق می‌افتد، که تحریک فورا بلافاصله قبل یا بعد از تحریک هدف از نظر زمانی، باعث کاهش درک تحریک زمانی هدف می‌شود.

**۱۴-۲**

**شیء لامسه/ هپتیک**

**tactile/haptic object**

مولفه‌ای از یک سامانه تعاملی که یک کاربر می تواند با کمک هپتیک با آن تعامل برقرار کند.

**۱۵-۲**

**عنصر واسط کاربری( لامسه/ هپتیک)**

**(tactile/haptic) user interface element**

ذات یک واسط کاربری که به شکل لامسه/هپتیک بیان می‌شود.

**۱۶-۲**

**وظیفه اولیه (لامسه/هپتیک)**

**(tactile/haptic) task primitive**

کارهای ابتدایی یک کاربر برای انجام وظایفی که وسیله برای آن طراحی شده است.

**۱۷-۲**

**برچسب حس لامسه**

**tactile lable**

برچسب عناصر واسط کاربر که در بعد لامسه/هپتیک بیان می‌شود.

**۱۸-۲**

**نقشه حس لامسه**

**tactile map**

نقشه ای که در بعد لامسه/هپتیک با عملگرهای ورودی بیان می‌شود.

**یادآوری۱-** عملگرهای ورودی شامل لمس با انگشتی بلندکردن یا حرکت با انگشتان در میان نقشه برای ایجاد موقعیت و انتخاب است.

**یادآوری۲-** نقشه‌های لامسه‌ای اغلب برای کمک به نابینایان در ردیابی بکار می‌روند.

**۲-۱۹**

**سفتی، سختی، کشسانی**

**stiffness, hardness, elasticity**

پاسخ هپتیک به تعاملات نیروی عمود بر سطح شیء مجازی

**یادآوری۱-** سفتی اغلب برای جسم سخت به عنوان سختی تعریف می‌شود.

**یادآوری۲-** سفتی اغلب برای جسم نرم به عنوان کشسانی تعریف می‌شود.

**یادآوری۳-** سفتی حداکثر برابر است با بیشترین مقدار ثابت فنر معادل یک سطح مجازی که توسط وسیله بدون ناپایداری ایجاد می‌شود.

**۲-۲۰**

**ضربه**

**burst**

تحریک لامسه/هپتیک کوتاه

**یادآوری-** یک ضربه به طور معمول بین ۱۰ میلی ثانیه تا یک ثانیه طول می‌کشد.

**۲-۲۱**

**شناساگر**

**probe**

جسمی که در یک فضای مجازی تحت کنترل وسیله لامسه /هپتیک باشد.

**۲-۲۲**

**قابلیت تفکیک مکانی**

**spatial resolution**

درجه تفکیک خروجی فیزیکی از یک کاربر که می‌تواند توسط وسیله تشخیص داده شود.

**۲-۲۳**

**قابلیت آدرس‌دهی**

**addressability**

توانایی آدرس‌دهی یک نقطه خاص یا تنظیم تعدادی نقاط در یک فضای کاری را گویند.

## ۳ مقدمه‌ای بر هپتیک

علم هپتیک و تولید وسیله‌های لامسه/هپتیک به میزان اطلاعات از بدن، به خصوص توانایی بدن در حس تماس از طریق پوست و فعالیت‌های حسی-حرکتی در اندام‌ها و مفاصل بدن بستگی دارد.

شکل ۱، رابطه بین اجزای شکل‌دهنده حوزه هپتیک را نشان می‌دهد. این حوزه بین مطالعه حس لامسه و مطالعه حسی- حرکتی تقسیم شده است.

«لامسه» شامل هر نوع محرک مکانیکی، دمایی، شیمیایی و الکتریکی است که پوست را تحریک می‌کند. عصب-های خاص و ارگان‌های حسی ویژه در پوست، به این تحریکات با تفکیک‌پذیری مکانی و زمانی مختلف پاسخ می‌دهند.

حس حرکتی می‌تواند فعالیت‌های حرکتی که یک کاربر از طریق آن بر یک جسم خارجی نیرو یا گشتاور اعمال می‌کند تلقی شود. با ترکیب حس حرکتی و فعالیت‌های حرکتی می‌توان نیرو و گشتاوری را که بدن با آن در برابر نیرو و گشتاور اعمال شده از سوی یک وسیله لامسه/هپتیک مقاومت می‌کند را تشخیص داد. به همین شکل، با اعمال یک نیرو و گشتاور مشخص به یک جسم، می‌توان خواص در مقیاس بزرگ آن از جمله اینرسی جسم را تعیین کرد.

در نتیجه، حس حرکت یک حس دو طرفه است، به عبارتی حس محیط اطراف و انجام فعالیت‌های لمسی با دست به صورت تبادل دوطرفه اطلاعات و فعالیت‌ها می‌باشد.

**یادآوری۱**- لامسه فعال، حس حرکتی را درگیر می‌کند در حالیکه لامسه غیرفعال چنین عمل نمی‌کند. لامسه فعال و غیرفعال معمولا مفاهیم بسیار مفیدی در تشخیص تعاملات هستند. در تعاملات، شناسایی دو مفهوم با ابزارهای خاص، همواره امکانپذیر نیست. بسته به هدف و نوع فعالیت، یک شکل از لامسه بر شکل دیگر ارجحیت دارد.

**یادآوری۲**- تعامل با وسیله‌های لامسه/هپتیک ممکن است از ترکیب مختلفی از اجزای هپتیک در چند نقطه از تماس، استفاده - کند.

**یادآوری۳**- به پیوست پ برای جزئیات بیشتر درخصوص فیزیولوژی در هپتیک مراجعه شود.

## ۴ شناسایی حس هپتیک در انسان

### ۴-۱ اهمیت حس هپتیک

هپتیک بیشتر از آنچه که به طور عام اشاره شده است، از اهمیت بالایی در زندگی انسان برخوردار است. برای مثال، وقتی شما در حال جستجوی یک شیء در جیب یا کیف خود بدون کمک حس بینایی هستید، هپتیک در این زمان بکار گرفته می‌شود. زمانی که شیء مورد نظرتان را پیدا می‌کنید، آن را با نیروی مناسب گرفته و بیرون می‌آورید، این واکنش براساس هپتیک شکل می‌گیرد. این حس می‌تواند اجسام معمول را به طور مؤثری

شناسایی و در عرض چند ثانیه به طور کامل تشخیص دهد، به خصوص زمانی که فرد، انتظار مشخصی از ویژگی‌های آن شیء دارد.
یک پزشک می‌تواند، با معاینه سطح بدن اطلاعاتی درباره‌ی شرایط اندام‌های زیر سطح پوست و لایه‌های چربی به دست آورد که این اطلاعات با چشم قابل دریافت نیست.
هپتیک همچنین اجازه می‌دهد که یک لمس از راه دور داشته باشیم، به این صورت که یک شیء دور از دسترس را با وسیله‌ای جستجو کنیم. برای مثال، یک فرد با نقص عضو بینایی ممکن است برای درک ویژگی‌های زمین از نوک یک عصا بهره ببرد.
به طور خاص، دست‌ها، اهمیت زیادی در پیشرفت بیولوژیکی و فرهنگی انسان در ارتباط با محیط اطراف او دارند. در یک زمان آنها برای درک محیط و تعامل مستمر با آن مفید هستند. یک دست توانایی ویژه‌ای برای سازگاری با انواع مختلفی از فعالیت‌ها دارد، از فعالیت گرفتن یک جسم خیلی کوچک با دقت بالا گرفته تا یک جسم بزرگ که نیازمند نیروی زیادی است. این فعالیت‌ها همواره به وسیله‌ی بازخوردهای هپتیکی هدایت می-شوند.
به هرحال، هپتیک با کاربردهای رایانه‌ای در مقایسه با تعاملات دیداری و شنیداری جدید بوده، و هنوز به طور نسبی محدود می‌باشد. امروزه، وسیله‌های لامسه/هپتیک در استفاده جامع قابلیت‌های حس هپتیک، همچنان نیازمند توسعه و پیشرفت هستند.
لامسه همچنین به منظور تأیید اطلاعات بدست آمده از حقایق جهان، استفاده می‌شود.

### ۴-۲ هپتیک و بینایی

#### ۴-۲-۱ شباهت‌ها و تفاوت‌های بین حس هپتیک و بینایی

هپتیک ویژگی‌های مشترک زیادی با بینایی دارد. هپتیک می‌تواند برای قرار دادن اجسام اطراف فرد در فاصله‌ی نزدیک (در محدوده دسترسی فرد یا اینکه از وسیله‌ای استفاده کند) استفاده شود تا قسمت‌های کناری و لبه‌ها و گوشه‌های جسم را یافته و اندازه و شکل جسم (نه آن قدر بزرگ که به وسیله‌ی یک فرد تخمین زده نشود) را مشخص کند. در تشخیص ویژگی‌های سطحی، نه تنها حس لامسه با حس بینایی هماهنگ است، حتی در بسیاری موارد، بالاتر از آن عمل می‌کند.
در برخی وظایف، هپتیک به طور قابل توجه‌ای از حس بینایی عقب است یا نمی‌تواند آن وظایف را انجام دهد. برای مثال، در بازنگری مجدد یک صحنه، تعیین فضای سه بعدی در منطقه خارج از دسترس، تشخیص رنگ‌ها یا تشخیص کناره‌های یک تصویر دوبعدی بدون برجستگی، ناتوان است.
در برخی وظایف، هپتیک بالاتر از حس بینایی است. با هپتیک، ما می‌توانیم، به طور مستقیم وزن یک شیء و همچنین سختی و دمای آن را تخمین بزنیم. بینایی هم می‌تواند تاحدی این ویژگی‌های شیء را تخمین بزند اما این کار تنها با مشاهده‌ی فعالیت‌های فردی دیگر انجام می‌پذیرد.

### ۴-۲-۲ موقعیت فضایی مشترک حس بینایی و هپتیک

در دنیای واقعی، اجسام معمولاً در موقعیت دیداری و لامسه‌ای یکسان درک می شوند اما در دنیای مجازی لزوماً این طور نیست. اشیای مورد دید می‌توانند بر روی یک صفحه قرار داشته باشند، در حالی که اجسام هپتیک موقعیت دیگری دارند، به طور مثال بر وجه صفحه کلید در یک وسیله لامسه/هپتیک نشان داده شوند. فواید موقیعت مشترک، در هدف‌گذاری اشیا و تشخیص شکل آنها نشان داده شده است. به طور خاص فعالیت‌هایی از جمله پیدا کردن برجستگی‌ها و بدست آوردن تماس مجدد با اشیای مجازی گمشده تحت شرایط موقعیت مشترک، آسان‌تر انجام می‌شود.

ترکیب حواس بینایی و هپتیک می‌تواند باعث درک فرد از یک صحنه شود. حس بینایی ممکن است در ابتدا بهتر عمل نموده و اجازه بررسی سریع یک صحنه و شناسایی اجسام را بدهد. اما یک نمایشگر لامسه اجازه می-دهد تا یک تشخیص سریع‌تر از بافت سطح جسم صورت گیرد. فاصله نسبی اشیاء می‌تواند به صورت هپتیکی، در فضای فرد و تقویت تشخیص دیداری فاصله‌ها، قابل درک باشد. پس از آن ویژگی‌های اشیاء مانند جرم و تغییرشکل‌پذیری آنها می‌تواند فقط از طریق حس هپتیک تأیید شود.

**مثال** یک نوازنده پیانو، زمانی که با دیدن نُت‌ها موسیقی اجرا می‌کند برای تشخیص موقعیت نُت‌ها در صفحه کلید به حس هپتیک اتکاء می‌کند، اما در زمان نواختن براساس حافظه خود، هر دو حواس بینایی و هپتیک با هم به کار می‌برد و باعث می‌شود تا عملکرد با آرامش بیشتر و به بهترین شکل انجام شود.

### ۴-۳ شناسایی دستی اشیاء

حرکت یک بیننده در طول شناسایی هپتیک محیط اطراف عموماً اتفاقی نیست، اما به طور خاص، مستقیماً به سمت اطلاعات مورد نیاز هدایت می‌شود. این الگوهای حرکتی، دستورالعمل‌های شناسایی نام دارند که شامل دستورالعمل‌های پایه اشاره شده در زیر هستند.

الف- حرکت جانبی برای تشخیص بافت سطح

ب- وارد کردن فشار برای تشخیص میزان سختی

پ- نگه داشتن شیء بدون تکیه‌گاه، برای تشخیص وزن

ت- گرفتن (گرفتن یک شیء در یک دست یا هر دو دست) برای تشخیص شکل کلی و حجم

ث- دنبال کردن خطوط کناره نمای جسم[1] برای تشخیص شکل کلی و شکل دقیق.

وسیله‌های لامسه/هپتیک ممکن است با محدود کردن دستورالعمل‌های شناسایی در دسترس فرد، به طور قابل توجهی کارایی شناسایی را کاهش دهند. تمرین و مهارت‌آموزی‌های خاص در حرکات برای نمایشگرهای خاص سودمند بوده و می‌تواند تا اندازه‌ای این نقص را جبران کند.

---

1- Contour-following

### ۴-۴ تمرین دستورالعمل‌های شناسایی

تشخیص سطح جسم نسبت به شکل آن از مشکلات کمتری برخوردار است. این شاید به این دلیل است که دستورالعمل شناسایی بافت سطح بسیار ساده‌تر از تشخیص شکل است. زمان تشخیص بافت سطح، کاربر ممکن است حرکت‌های اختیاری روی سطح جسم انجام دهد، در حالی که جستجوی شکل کاملا نیازمند حرکات خاص است. هرچند، تمرین دستورالعمل‌های مناسب شناسایی برای یک شکل مشخص می‌تواند باعث بهتر شدن عملکرد شود. این نکته قابل توجه است که در زمان ارزیابی نمایشگرهای هپتیک، اگر کاربر تجربه کافی با آن وسیله را نداشته باشد ممکن است ذهنیت مفید نبودن آن وسیله به وجود آید.

### ۴-۵ مشکلات بررسی اجمالی یک صحنه با هپتیک

یکی از مسائل بسیار دشوار در رابطه با هپتیک در بسیاری موضوعات عملی، اخذ درک اجمالی از یک صحنه است. در حس بینایی، این بررسی تقریباً به صورت لحظه‌ای انجام می‌شود. موقعیت‌هایی وجود دارد که «نظر هپتیکی» (تماس کوتاه با یک شیء) می‌تواند چیزی با همان کیفیت بینایی را فراهم آورد، به خصوص زمانی که شخص فرضیاتی به صورت پرسشی درباره شکل دارد. هر چند، این کار پر زحمت و زمان‌بر است، اما برای شناسایی اشیاء در شرایط بسیار پیچیده، تنها از هپتیک استفاده می‌شود. اغلب به کارگیری هپتیک همراه با اطلاعات شنیداری یا دیداری، مفید است. به عنوان مثال، می‌تواند اطلاعاتی شفاهی یا کتبی درباره شِیء یا دستورالعمل‌هایی درباره چگونگی بررسی یک صحنه، وجود داشته باشد.

### ۴-۶ حداقل تحریک فیزیکی: آستانه مطلق

درک هپتیک برمبنای انواع حسگرها در پوست و همینطور در ماهیچه‌ها، تاندون‌ها و مفاصل شکل می‌گیرد. حداقل تحریک فیزیکی، که آستانه مطلق نام دارد، لازمه فعالیت حسگرها در هنگام واکنش و فرستادن پیام‌هایی است که تجربه را برای فرد فراهم می‌کند. بسیاری از رویدادهای فیزیکی می‌توانند پوست را تحریک کنند، از تماس یک برس با سطح کرک‌دار گرفته تا فشار نقاط مختلف، لبه‌ها، گوشه‌ها وخمیدگی‌ها. آن‌ها ممکن است باعث حرکت پوست، کشیدگی یا لرزش پوست شوند و برای این که تخمین زده شوند نیازمند مقادیر مختلفی از انرژی هستند. حداقل فاصله‌ای که پوست می‌تواند حس کند حدود یک میلی‌متر است. به طور کلی دست نسبت به چشم در تفکیک‌پذیری فضایی خوب نیست، اما از گوش بهتر است. در رابطه با تفکیک‌پذیری زمانی، دست از چشم بهتر، اما از گوش ضعیف‌تر است.

پوست یک اندام حسی وسیع است که بخش‌های متنوع آن دارای میزان حساسیت مختلفی هستند. نوک انگشت‌ها، از جمله بخش‌های مهم حسی بوده که دارای بیشترین حساسیت بوده و بهترین محل برای تشخیص محیط اطراف هستند. لب‌ها و دهان نیز بسیار حساس هستند. این حساسیت خاص، اخیراً به منظور توسعه یک وسیله لامسه/هپتیک که در دهان قرار داده شده است، به کار برده می‌شوند. بخش‌هایی از بدن با حساسیت کم‌تر مانند شکم و کمر نیز برای قرار گرفتن وسیله لامسه/هپتیک مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما میزان تفکیک‌پذیری فضایی در این قسمت‌ها بسیار کمتر از دست‌ها و دهان است.

یادآوری به سن فرد استفاده‌کننده از وسیله‌های لامسه/هپتیک مهم است زیرا با افزایش سن، حساسیت هپتیک به مقدار قابل توجه‌ای کاهش می‌یابد.

### ۴-۷ حداقل تفاوت مورد نیاز برای تشخیص

یک حداقل تفاوت فیزیکی بین دو تحریک، برای فردی که این تفاوت‌ها را تجربه می‌کند، لازم است. این تفاوت «آستانه تفاوت» یا «تنها تفاوت قابل توجه[1]» نام دارد.

**مثال۱:** در تشخیص تفاوت جهت‌های دو نیرو، میزان اختلاف حداقل ۳۳ درجه باید درنظر گرفته شود تا تفاوت قابل درک باشد.

**مثال۲:** در مقایسه اجسام به وسیله فشرده کردن آن‌ها، براساس تفاوت‌های شناسایی شده، نیروی مقاوم در یکی باید حدود ۷ ٪ بیش از دیگری بوده تا تفاوت قابل درک باشد.

### ۴-۸ تشخیص خصوصیات هندسی اشیاء

خصوصیات یک جسم می‌تواند به دو ویژگی هندسی و جنس ماده تقسیم شود. اندازه و شکل، از ویژگی‌های هندسی هستند که عموماً برای شناسایی اشیاء استفاده می‌شوند. در دنیای واقعی، دستورالعمل‌های شناسایی با محصور کردن و دنبال کردن خطوط روی جسم برای بدست آوردن این اطلاعات استفاده می‌شوند. انجام این دستورالعمل‌ها همیشه با نمایشگرهای هپتیک امروزی میسر نمی‌باشد. تشخیص شکل با این نمایشگرها میسر است ولی با کارایی کمتر و صرف زمان بیشتر نسبت به محیط واقعی است و این یک دلیل اصلی برای پیشنهاد وسیله‌های لامسه/هپتیک ، برمبنای یک نقطه تماس است.

### ۴-۹ تشخیص وزن

تشخیص لمسی وزن از قرن نوزدهم مورد مطالعه قرار گرفته است. هر مطالعه که اخیراً انجام شد یک دید جدید در رابطه با چگونگی تشخیص وزن براساس اجسامی که مقایسه می‌شوند را ایجاد کرد. تحریک در این حالت، مقاومت در برابر گشتاور چرخشی است که به وسیله سیستم هپتیک دریافت می‌شود. ویژگی‌هایی مانند طول میله یا شکل جسم می‌تواند به وسیله گرفتن میله یا شیء مشخص شود. مقدار مایع در یک ظرف مات می‌تواند تنها به وسیله‌ی هپتیک در زمانی که ظرف در حال لرزش است، مشخص شود.

### ۴-۱۰ تشخیص خواص جنس ماده

سطح یک جسم می‌تواند خواص جنسی بسیاری داشته باشد. این خواص می‌تواند از سفتی به نرمی و همچنین از حالت صاف به حالت زِبر متفاوت باشد. ویژگی آخر، بافت سطح نامیده شده و به ساختار میکروسکوپی باقاعده یا بی‌قاعده برجستگی‌های سطح بستگی دارد. ساختار میکروسکوپی می‌تواند در کنار ساختارهای بزرگ قرار گیرد که شکل جسم را مشخص می‌کند. نرمی/ سفتی و صافی/ زبری، دو بعد اصلی تشخیص از اشیای لمس شده

---

1- JND = Just noticeable difference

هستند. ویژگی‌های دیگر، چسبندگی/ لغزندگی هستند که برمبنای میزان مقاومت سطح در برابر حرکت تعریف می‌شوند. تلاش‌هایی برای تشخیص خواص دمایی صورت گرفته که تاکنون خیلی موفق نبوده است.
در شرایط واقعی، زمانی که بافت سطح جسم تشخیص زده می‌شود، تعاملات پیچیده‌ای بین هپتیک، حس بینایی و شنوایی وجود دارد. گاهی اوقات، یکدیگر را کامل می‌کنند و گاهی در مقابل هم قرار می‌گیرند و یکی بر دیگری چیره می‌شود. اثر ترکیبی سه وجه، باید زمانی که تشخیص چند حسی مدنظر است، مورد توجه قرار گیرند.
بافت سطح، عموماً زمانی مشخص می‌شود که سطح در تماس مستقیم با سطح انگشت قرار بگیرد. اما بافت سطح به روش‌های دیگر نیز مانند استفاده از ابزارهای دستی (ایجاد یک رابط صلب بین پوست و سطح) تشخیص زده می‌شوند. این روش می‌تواند در محیط مجازی برای تخمین بافت سطح مفید باشد.
در مقابل تشخیص شکل، تشخیص خواص سطح مجازی به وسیله هپتیک در هر دو جهان حقیقی و مجازی، آسان است. در یک آزمایش که میزان زبری سنباده به وسیله‌ی یک قلم در هر دو شرایط حقیقی و مجازی مقایسه شد، تشخیص‌ها بسیار مشابه یکدیگر بود. هر چند، گاهی مواقع مسائلی در رابطه با پیچیدگی تشخیص بافت سطح هپتیکی واقعی وجود دارد.

### ۴-۱۱ تعداد و اندازه سطوح تماس، در وسایل لامسه/هپتیک

وقتی دست به طور طبیعی کار می‌کند، چند سطح تماس، هنگام قرارگیری نوک انگشتان روی سطح، وجود دارد. در بسیاری از نمایشگرهای هپتیک امروزی، تعداد تماس‌ها کم بوده و در بیشتر موارد تنها یک نقطه وجود دارد. سطح تماس مجازی نیز به جز در چند مورد این چنین است و به وسیله یک نقطه ارائه می‌شوند. این شرایط بیانگر یک حالت مشابه می‌باشد، اما نه شبیه‌سازی واقعی.
وقتی که تنها از یک سطح تماس استفاده می‌شود، کسب اطلاعات همزمان از چند سطح تماس، ممکن نیست و تنها اطلاعات متوالی قابل دسترس هستند.
استفاده از تنها یک انگشت نشان می‌دهد که نمی‌توان از روش احاطه کردن استفاده کرد.

**یادآوری**- احاطه کردن، یک روش شناسایی مهم برای تشخیص شکل کلی به وسیله گرفتن یک شیء با چند انگشت است.

نتیجه‌گیری مطالعات تشخیصی نشان می‌دهد که نبود اطلاعات مکانی توزیع شده در چند نقطه تماس مهم‌تر از تعداد واقعی نقاط تماس است.

### ۴-۱۲ خلاصه

حتی اگر حس هپتیک نتواند یک بررسی فوری از یک موقعیت را انجام دهد و نتواند فاصله‌ی خارج از دسترس را پوشش دهد، این حس تأثیر وسیعی در فراهم کردن اطلاعات در رابطه با اجسام و اتفاقات نزدیک دارد. دست‌ها می‌توانند به طور مناسب بسیاری از فعالیت‌ها رادر محیط واقعی انجام دهند. آن‌ها می‌توانند ویژگی‌های هندسی و سطحی جسم را به وسیله‌ی روش‌های شناسایی خاص، مشخص کنند. آن‌ها می‌توانند وزن و شکل را با

بکارگیری شیء و حس کردن اینرسی خطی و چرخشی آن، تعیین کنند (مانند تعیین مقدار مایع در ظرف در حال لرزش).

هنگام تشخیص اشیاء و رویدادها به وسیله تشخیص هپتیک، توجه به خواص ویژه حس هپتیک مهم است. اخیراً وسایل و نرم‌افزارها شبیه‌سازی‌های خوبی را فراهم کرده‌اند که اجازه تخمین صحنه‌های هپتیک را میسر ساخته است. از طرف دیگر، آنها روش‌هایی را که کاربر با آنها می‌تواند یک صحنه را به کمک هپتیک درک کند را محدود می‌کنند. وسایل آینده ممکن است استفاده از حس هپتیک را برای کاربران قابل دسترس‌تر نماید.

## ۵ چه زمانی تعاملات لامسه / هپتیک استفاده شود

### ۵-۱ کلیات

وسایل لامسه/هپتیک در موقعیت‌های متفاوت زیادی و برای اهداف متنوعی می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند. برای برخی اهداف، آنها قابل جایگزین می‌باشند و برای بعضی دیگر می‌توانند به صورت هم زمان استفاده شوند و برای سایر اهداف طبیعت خاص بازخورد مشخص می‌کند که کدام نوع موثرتر است.

باتوجه به اندازه کوچک و الزامات تامین انرژی آنها، نمایشگرهای لامسه به عنوان وسیله‌ای مجزا در اخذ اطلاعات از طریق حس‌لامسه را فراهم می‌کنند. نمایشگرهای لامسه معمولا آنقدر کوچک هستند که می‌توانند در وسایل دیگر مانند موشواره، صفحه کلید یا کنترل‌های بازی و وسایل قابل‌حمل مانند گوشی همراه و وسایل کمکی دیجیتالی شخصی مورد استفاده قرار بگیرند، (یا حتی در وسایل هپتیک و لامسه با بازخورد نیرو). اطلاعات لامسه به طور گسترده در مجموعه بازی‌های ویدئویی به عنوان روشی کم هزینه در فراهم آوردن بازخورد لمسی در کنترل‌کننده دستی بازی‌ها استفاده می‌شود. احساس لامسه در موفقیت حمل دستی اجسام، شناسایی لبه‌ها و تشخیص بافت سطح و پوسته اجسام تعیین‌کننده هستند. همچنین این حس در کیفیت محتواهای ارتباطات غیردیداری (مانند ضربه زدن به شانه یا نوازش دست) و ادراک کیفیت مفهوم دخیل است.

وسایل هپتیک و لامسه که بازخورد نیرویی را فراهم می‌کنند معمولا بسیار بزرگتر از مواردی هستند که حس لامسه به طور خالص در آنها دخیل است و به انرژی بیشتری برای اعمال نیروهای قوی احتیاج دارند و به همین دلیل معمولا سیار نیستند. آنها معمولا بیشتر در شبیه‌سازی کارهای دنیای واقعی مانند شبیه‌سازی‌های جراحی و مهارتی متمرکز شده‌اند. درستی و دقت بالای آنها به این معنا است که آنها به طور ظریف و ماهرانه می‌توانند در آموزش‌های مهارتی لامسه استفاده شوند، حتی هنگامی که شبیه‌سازی موارد متحرک یا بسیار سنگین مدنظر باشد

در بسیاری ملاحظات، شبیه‌سازی نیروهای بزرگتر در تعامل لامسه با اجسام در مقایسه با شبیه‌سازی‌های کوچک پوستی در بازخوردهای حس‌لامسه بسیار آسان‌تر است به همین دلیل وسایلی که بازخورد نیرویی فراهم می‌کنند در مقایسه با وسایلی با حس‌لامسه معمولا حس‌های واقعی‌تر از اجسام را ارائه می‌دهند. در ادامه چند نمای کلی در استفاده از نمایشگرهای لامسه و بازخورد نیرویی ارائه شده است.

### ۵-۲ در دسترس بودن

نمایشگرهای هپتیک می‌توانند یک راه‌حل جایگزین برای نمایش اطلاعات در صورت ناکارآمدی دیگر حس‌ها ارائه دهند. استفاده‌های قدیمی و کدگذاری مانند خط بریل در نمایش اطلاعات متنی به صورت غیردیداری موثر می‌باشد، در عین این که حس لامسه می‌تواند برای نمایش یا تقویت اطلاعات در شرایط چند بعدی برای کسانی با قدرت دید محدود و برای افراد نابینا مورد استفاده قرار گیرد. به همین صورت برای کسی که مشکل شنوایی دارد، لامسه می‌تواند برای نمایش دادن اخطار یا پیام‌های دیگری که در شکل صوت ارائه می‌شوند به کار رود. فرایند جایگزینی حواس شامل حس‌کردن محرک توسط وسایل الکترونیکی، انتقال تحریک از طریق پردازش سیگنال، و نمایش محرک تغییر یافته در شکل دیگری از حواس می‌شود.

نمایشگرهای دینامیک و قابل تجدید بریل ارائه‌دهنده نوعی استقلال و قابلیت انعطاف بیشتر هستند. آنها می‌توانند در وسایل لامسه‌ای/هپتیک متحرک مانند صفحه کلید یا صفحه کنترل تلویزیون دارای بازخورد لامسه/هپتیک و وسایل نمایش اطلاعات برای نابینایان به کار بروند. نمایشگرهای لامسه‌ای که به طور معمول استفاده می‌شوند حس‌ها را به شکل آشفتگی مکانیکی بر روی سطح پوست انتقال می‌دهند. این کار معمولا با ارتعاش یک صفحه فشرده شده بر روی پوست یا از طریق سوزن یا دسته‌ای از سوزن‌ها بر نوک انگشتان انجام می شود. سیستم‌هایی وجود دارد که به افراد با نقص دیداری توانایی دسترسی به نقشه‌های مجازی از طریق درگاه وب براساس چاپ نقشه‌ها بر روی چاپگرهای بریل و ورود اطلاعات از طریق یک صفحه لمسی را می‌دهد.

وسایل لمسی/هپتیک می‌توانند برای نمایش اطلاعات به افرادی با نقص دیداری که دسترسی به اسنادی از جمله گراف‌ها، نمودارها، جداول برای آنها دشوار است مورد استفاده قرار گیرند. بریل برای نمایش اطلاعات متنی مناسب است و برای تصاویر پیچیده مناسب نیست. سیستم‌های تصویری مانند گراف‌های خطی یا نمودارهای میله‌ای می‌توانند به صورت شیارهایی نمایش داده شوند که به استفاده‌کنندگان اجازه می‌دهد با بررسی آنها داده را احساس کنند. این روش‌ها بسیار موفق بوده و می‌توانند اطلاعات را بهتر ازکاغذ به شکل برجسته به نمایش بگذارند. همچنین می‌توانند متحرک باشند (در صورتی که کاغذ نمی‌تواند تغییر کند) و می‌توانند به استفاده-کنندگان اجازه دهند که خود به تنهایی اطلاعات را تغییر دهند.

### ۵-۳ تعاملات میزکار

بازخورد هپتیک می‌تواند در تعاملات کاربران گرافیکی برای کامپیوترها به کار برده شود، به عنوان مثال بکارگیری یک موشواره مرتعش. درحالی که تاثیر ارتعاش بر روی هدف‌گیری هدف‌های تکی ممکن است به طور چشم‌گیری زمان هدف‌گیری را کاهش ندهد، ولی می‌تواند زمانی را که هر کاربر برروی هدف صرف می‌کند را کاهش دهد. علاوه بر بازخورد لامسه (به عنوان مثال در قالب ارتعاش ثابت ۲۰۰ هرتز زمانی که علامت موشواره برروی هدف قرار می‌گیرد) می‌تواند سرعت هدف‌گیری برای هدف‌های مجزا و کوچک در کنار یکدیگر را بهبود بخشد. اگرچه هنگامی که چندین هدف وجود دارد بازخورد لامسه می‌تواند موجب گیج شدن و کاهش اثربخشی عملکرد شود چرا که بازخوردهای هدف‌ها در یکدیگر تداخل می‌کنند.

بازخورد نیرویی می‌تواند برای کمک در هدف‌گیری اجسام روی میزکار گرافیکی واسط کاربری برای کسانی با/یا بدون بینایی استفاده شود. قسمت‌های متفاوت از واسط‌های استاندارد می‌توانند اثرات هپتیک را ارائه دهند، به عنوان مثال در چارچوب‌های پنجره می‌توانند برجستگی‌هایی را ایجاد نمایند که بتوان آنها را به آسانی کشید یا اینکه میتوان با فشردگی سفت بر آنها به سمت پایین ، آنها را کنار زد مانند سر دادن کاغذ برروی میزکار.

**۵-۴ تعاملات سیار**

بازخورد لامسه به صورت موثری در تلفن‌های همراه و پیجرها[1] استفاده می‌شود. موتورهای مرتعش، اعلام لازم برای دریافت پیام‌ها و تماس‌های دریافتی را فراهم می‌کنند. این واقعیت که وسیله می‌تواند درون جیب باشد به این معنا است که نمایش دیداری لازم نیست. محیط‌های صوتی که تلفن همراه می‌تواند در آنها بکار گرفته شود به این معنا است که در برخی موارد بازخورد صوتی می‌تواند مناسب نباشد (به عنوان مثال در کتابخانه زنگ خوردن می‌تواند اخلال ایجاد کند یا در یک جمعیت شلوغ می‌تواند اصلا شنیده نشود) بازخورد لمسی می‌تواند بسیاری از این مشکلات را حل کند و برای کاربران بسیار مورد توجه قرار گیرد.

استفاده از ارتعاش می‌تواند فراتر از اعلام اخطارها و زنگ‌های ساده بر روی تلفن باشد. تلفن‌های لمسی در حال حاضر رواج دارند که صفحه کلید فیزیکی ندارند. اگرچه صفحه کلیدهای بکار رفته در وسایل دارای صفحه لمسی برمبنای صفحه کلید فیزیکی اصلی می‌باشد ولی یک ویژگی بسیار مهم از دست رفته است و آن عدم پاسخ فیزیکی دکمه‌ها هنگام لمس یا کلیک[2] می‌باشد. این موضوع باعث عملکرد ضعیف‌تر تایپ کردن می‌شود. با افزودن بازخورد لمسی اضافی که بوسیله موتورهای داخلی مرتعش ایجاد می‌شود عملکرد در فشار دادن دکمه-های صفحه لمسی می‌تواند به همان سطح واقعی فیزیکی صفحه کلید برگردد.

نشانگرهای پیشرفته لامسه از پالس‌های لامسه‌ای برای نشان دادن پیشرفت کار (مانند بارگذاری صفحه وب یا دانلود عکس‌ها) و مقدار کار باقی‌مانده استفاده می‌کنند تا کاربر در مدتی که منتظر است بتواند به چیز دیگری نگاه کند." نمادهای احساسی[3] هپتیکی" می‌توانند در ابراز احساسات به جای نمادهای گرافیکی مانند "☺" به کار گرفته شوند. این نمادهای تصویری هپتیک می‌توانند طوری طراحی شوند که با تایپ کردن معادل نوشتاری اجرا شده و سپس به موتور مرتعش تلفن فرستاده شوند.

بازخورد لمسی می‌تواند برای اطلاعات جهت‌دهی استفاده شود. یک جلیقه لمسی قابل پوشیدن می‌تواند اطلاعات جهت‌یابی شامل اطلاعات جهت، چرخش، سرعت و شتاب را به نمایش بگذارد. تحریک یک فعال‌کننده در مکان مناسب می‌تواند جهت را نشان دهد در صورتی که حرکت در برابر چندین فعال‌کننده می‌تواند چرخش را نشان دهد. تغییر فرکانس، شدت یا مدت زمان ارتعاش می‌تواند نشان دهنده افزایش یا کاهش در سرعت یا شتاب

1- Pagers
2 - Clicked
3- Emoticon

باشد. درستی یک چنین کارکردی در مرتبه °10 است، که بیشتر از حد کفایت برای هدایت یک هلیکوپتر یا قایق در طول یک مسیر از پیش تعیین شده است. بازخورد لمسی می‌تواند در اتومبیل‌ها برای اخطار خروج از مسیر و دیگر وقایعی که بالقوه خطرناک هستند استفاده شود. رانندگان عمدتا به اخطارهای لمسی سریع‌تر از اخطارهای صوتی یا تصویری پاسخ می‌دهند.

### ۵-۵ رباتیک

رباتیک از راه دور[۱] یا رباتیک هدایت شونده توسط انسان، یک حوزه کاربردی برای وسایل هپتیک و لمسی است. سیستم‌ها می‌توانند اجازه دهند که کاربر یک ماده رادیواکتیو را در داخل "جعبه داغ[۲] " هسته‌ای جابجا کنند. کاربر می‌تواند از پشت شیشه محافظ ناظر بوده در حالی که مایعات حمل‌شونده در ویال‌ها[۳] نگه داشته شده و از انبر استفاده می‌شود، همه این کارها با کمک گیره‌هایی است که روی بازوهایی که از سقف آویزان شده‌اند، نصب شده‌اند.

وسایل الکترومکانیکی لامسه/هپتیک می‌توانند به عنوان قسمتی از ایستگاه کنترل موقعیت حرکت ربات‌ها استفاده شوند. انطباق بازخورد کامل وسایل لامسه/هپتیک در این زمینه با درصد احتمال بی‌ثباتی محدود شده است. چنین بی‌ثباتی‌هایی می‌تواند باعث ارتعاش ربات و خرابی مواردی در ایستگاه کاری آن شود. اقدامات احتیاطی برای اطمینان از امینت هرگونه سیستم ربات که بازخورد نیرویی را فراهم می‌کند در نظر گرفته می‌شود. این موارد می‌تواند شامل یک حسگر تماسی باشد که گرفتن کاربر را بر روی دستگیره وسیله لامسه/هپتیک تشخیص دهد و اگر کاربر دستگیره را رها کند ربات فعالیت را متوقف و به شرایط ایمن[۴] می‌رود.

جابجاکننده‌های ربات گونه در زمینه‌های مختلف تحت کنترل کاربر هستند. یک جرثقیل در یک محیط ساخت و ساز می‌تواند توسط یک کاربر با مانور برروی سکان هدایت با ابزاری که در ناحیه کمر پوشیده می‌شود هدایت شود. ربات‌های خنثی‌کننده بمب، بازوی‌های رباتیک در فضا و وسیله‌های زیردریایی شرایطی را فراهم می‌کنند تا فعالیت با فاصله از موقعیت‌های خطرناک یا حضور دشمن انجام شوند. در هر یک از این مثال‌ها کنترل معمولا با مجموعه‌ای از چرخ دنده‌ها یا اهرم‌هایی که با سیستم مختصات کارتزین[۵] یا حتی مختصات مفصلی[۶] کار می‌کنند، هماهنگ شده‌اند.

وسایل لامسه/هپتیک پویا می‌توانند در ترکیب ساختاری جراحی‌های با حداقل تهاجم استفاده شوند. چنین سیستم‌هایی بازخوردهای با ارزشی درخصوص موقعیت و خصوصیات بافت به کاربر می‌دهند. آنها همچنین

---

1- Telerobotic
2- Hot box
3- Vials
4- Safe mode
5- Cartesian coordinates
6 - Joint coordinates

راهنمایی‌هایی در قالب ثابت‌کننده‌های مجازی[1] ارائه می‌دهند، راهنماهایی هپتیکی که وسیله را تحت کنترل کاربر به موقعیت هدف راهنمایی می‌کنند یا از رفتن وسیله به مناطق ممنوع و با دسترسی محدود جلوگیری می‌کند.

مسئله‌های ویژه‌ای از کاربرد از راه دور، با تاخیر زمانی می‌تواند شکل گیرد، مانند دست دادن در عرض اقیانوس آتلانتیک[2]. چنین کاربردهای ساده‌ای می‌توانند در یک حلقه عملکردی هپتیک، بدون ناپایداری وارد شوند. مثال دیگر شامل لمس بافت از راه دور یا ورود سوزن به بافت بیمار در یک قاره توسط پزشک در قاره‌ای دیگر می‌باشد. در مقیاس کوچکتر وسایل لامسه/هپتیک می‌توانند با بکارگیری یک نشانگر شناسایی میکروسکوپی، برای حس کردن اتم‌های تشکیل‌دهنده سطح یک کریستال استفاده شوند.

### ۵-۶ پزشکی

ابزارهای واقعیت مجازی در مهارت‌های پزشکی به طور معمول بکار می‌روند. شبیه‌سازها به دانشجویان اجازه می‌دهند تا مهارت‌ها را قبل از اجرا بر روی بیمار واقعی تمرین کنند. آنها همچنین می‌توانند فرآیندهای نامتداول را انجام دهند، که این سود زیادی از لحاظ امنیتی دارد. متخصصین نیز می‌توانند اهداف خاص و پیچیده را برنامه‌ریزی و تمرین کنند، قبل از این که آنها را بر روی بیمار پیاده‌سازی کنند. شبیه‌سازهایی که تنها بازخورد دیداری فراهم می‌کنند بسیاری از قسمت‌های مهم یک فرآیند جراحی را ایجاد نمی‌کنند و هپتیک می‌تواند در آموزش مهارت‌های مبتنی بر لامسه روشی امن را فراهم آورد.

جراحی‌های با حداقل تهاجم[3] MIS،که مهارت زیاد و سختی برای یادگیری می‌خواهد، می‌تواند به مقدار زیادی از علم هپتیک بهره ببرد. ابزارهای بلند منعطف از طریق شکاف‌هایی کوچک وارد بدن بیمار می‌شوند. جراحان می‌توانند از طریق دوربین‌های کوچک همراه ابزار نظاره‌گر محیط جراحی و وقایع آن باشند. ابزار، حس لامسه جراحان را نسبت به شرایط در زمان عمل باز کاهش می‌دهند، از سوی دیگر حس‌لامسه در شناسایی سطح بافت، عروق خونی، بافت‌های غیرطبیعی و میزان نیروی بهینه لازم برای جابجایی بافت‌ها بسیار حیاتی است. تجهیز ابزارهای جراحی با حداقل تهاجم MIS به وسایل لامسه/هپتیک و مدل‌های پیچیده گرافیکی به این معنا است که تمرین می‌تواند در شرایط بسیار نزدیک به واقعیت اتفاق افتد. جراحان می‌توانند بیاموزند که چه طور ابزار را بدون ایجاد آسیب جابجا کنند و چه نوع نیروهایی و مهارت‌های حسی-حرکتی مورد نیاز است. می‌توان از تمرینات فیلم ضبط کرد تا بعد از اجرا برای تحلیل مجددا پخش شود. همه این موارد بدون ایجاد آسیب به بیمار در طی فرآیند یادگیری می‌تواند کسب شود.

---

1 - Virtual fixtures
2 Handshakes across the Atlantic
3- MIS: Minimal Invasive surgery

در حیطه دامپزشکی، محققان، شبیه‌سازی را برای آموزش تشخیص برپایه حس‌لامسه[1] و تشخیص بارداری در اسب و گاو با استفاده از بازخورد نیرو طراحی کرده‌اند. در این گروه‌ها تشخیص حاملگی یک آزمون به روش داخلی است که تنها با لمس انجام می‌شود. برای دانشجویان یادگیری این فرآیند سخت و برای استادان نیز آموزش آن دارای همین شرایط است. دانشجویان قادر به مشاهده آنچه انجام می‌دهند نبوده و استادان نیز نمی-توانند به آسانی بگویند که آیا دانشجو به درستی تکنیک را اجرا می‌کند یا خیر، چرا که یک خطا می‌تواند عواقب بدی را برای حیوان ایجاد کند. شبیه‌ساز به دانشجویان اجازه می‌دهد تا تخمدان‌های حیوان را احساس و یاد بگیرند که منتظر چه احساسی باید باشند و چقدر باید فشار دهند. آنها همچنین به دانشجو اجازه می‌دهند که موقعیت‌های کلیدی در حیوان یاد گرفته تا بتوانند مکان مناسب برای لمس را پیدا کنند. هپتیک برای خود بیماران نیز استفاده شده است. وسایل هپتیک و لامسه می‌توانند به افراد اجازه دهند که بعد از سکته به طور مجدد کنترل و حرکات خود را بازآموزی کنند. وسایل هیپتیک/لامسه میتواند از اغاز به بیماران کمک کنند مثلا کشیدن یک بازو که به بیماران کمک کند تا دقت و کنترل خود را در حرکات بازیابی کنند. هر چه بیمار قوی‌تر می‌شود وسیله مقاومت بیشتری را عرضه می‌کند تا قدرت ماهیچه‌ای بازیابی شود.

### ۵-۷ بازی

تکنولوژی تعاملات هپتیک به صورت بسیار گسترده در واسطهای کاربردی بازی‌ها به کار می‌روند. بازار بزرگ فروش بازی‌ها، منجر به بازار بزرگی برای انواع مختلف وسایل هپتیک/لامسه شده است،که بسیاری از این وسایل می‌توانند برای انجام فعالیت‌ها و کارهایی به غیر از بازی نیز استفاده شوند. تکنولوژی تعاملات هپتیک در حال پیدا کردن راه خود در بازی‌های رایانه‌ای است. بازی براساس شانس یا براساس ماجراجویی‌های مجازی باشد، احساس لمس یک بعد جدیدی در واقعی کردن تجربه را به آن می‌افزاید.

یک بازی معمول که کنترل‌های هپتیک را دخیل می‌کند شبیه‌سازی رانندگی است که ممکن است همراه با یک فرمان و پدال گاز و ترمز باشد. سختی و شرایط جاده می‌تواند از طریق دستها، پاها یا کل بدن به کاربر منتقل شود. البته چنین تعاملی از طریق بکارگیری صفحات بزرگ و استفاده از صندلی‌های موتوردار شکل می‌گیرد. به علت محدوده کوتاه حرکات در چنین وسیله‌ای، راه‌های ابتدایی انتقال از طریق شتاب‌گرفتن و اثرات لرزشی است. درجه کنترل استفاده‌کننده بر روی بازی مانند راه اتوموبیل مجازی موضوع مهمی در پیچیدگی طراحی آن است. تعاملات استفاده‌کنندگان در بازی‌های شانسی می‌تواند به کمک صفحه کاربردی هپتیک ارتقا یابد،که در آن هر دکمه نوع خاصی از ارتعاش را اجرا می‌کند. یکی از دکمه‌ها می‌تواند مانند فنر نرم باشد، دکمه بعدی ممکن است با فرکانس دیگری ارتعاش کند و دکمه سوم می‌تواند حس لغزیدن یک جفت تاس را شبیه‌سازی کند.

---

1 - Palpation

در شبیه‌سازی‌های ورزشی موقعیت‌دهنده‌های سه بعدی بکار گرفته شده‌اند که به بازیکن اجازه می‌دهد به عنوان مثال چرخیدن راکت تنیس، یا چوب گلف یا شیرجه در استخر یا توپ بیلیارد را شبیه‌سازی کند. مشکل است، اما غیرممکن نیست که چنین وسیله‌ای را طوری مدل نمود که استفاده‌کننده در برابر فشار یک نیروی مقاوم ثابت قرار گیرد. از طرف دیگر تاثیر ضربه وارد شده هنگام ضربه زدن به یک وسیله می‌تواند با استفاده از وسیله هپتیک گرفته شده در دست شبیه‌سازی شود. در برخی موقعیت‌ها احساس به واقعیت نزدیک‌تر است چراکه ارتباط بین همه حواس، هپتیک، دیداری و شنیداری شکل می‌گیرد.

**۵-۸ هنر و خلاقیت**

هپتیک ایجاد یک حیطه وسیعی از ادوات موسیقی جدید را ممکن می‌سازد. براساس حسگرها و اجزای فعال مانند اهرم‌ها این وسایل به هنرمند راه‌های جدیدی برای ارائه را در اختیار می‌گذارد. یک کلید پیانو[1] که شامل سوزن‌های برجسته بوده و می‌توان به آنها ضربه زد، به هنرمند اجازه می‌دهد تا حالات مختلفی را امتحان کند. یک وسیله هپتیک لمسی می‌تواند عمل کمان ویلون را تقلید کند یا از وسیله موسیقی کوبه‌ای[2] تقلید کند. قلم هپتیک[3] می‌تواند به هنرمند اجازه دهد که رنگ مجازی را در بوم بکار گیرد. بازخورد نیرویی به هنرمند اجازه می‌دهد تا رنگ را با استفاده از حس لامسه همانند چشم بر روی بوم به کار گیرد. این میسر است که از خاک رس مجازی با استفاده از وسایل هپتیک لمسی مجسمه‌سازی نمود. قسمت‌هایی از مدل می‌توانند با کمک احساس و دیدن نقش ببندند و خاک جدید می‌تواند به مدل اضافه گردد.

نرم‌افزارهای داستان‌های مصور از ابزار زیادی استفاده می‌کنند تا فرایند طراحی و توسعه داستان‌های مصور اقتصادی‌تر شود. یکی از ابداعات ترتیب انیمیشن‌ها را در یک مسیر در فضای مجازی سه بعدی به نحوی متصل کرده که می‌تواند بوسیله وسایل هپتیک لامسه هل داده شود یا کشیده شود. با اضافه کردن مقاومت‌های متغیر به حرکات خاصی، ترتیب می‌تواند به صورت مناسبی تنظیم نهایی[4] شود، که این امر بوسیله استفاده از حرکات خاص وسایل هپتیک لامسه ممکن می‌شود. به طور کلی، این امکان برای هنرمند وجود دارد تا با استفاده از گرافیک و احساس لمس، خلاقیتی را نمایش دهد. وسایل هپتیک/لامسه در کنار یک نمایش می‌تواند به نظاره‌گر این اجازه را بدهد تا یک مجسمه را هم ببیند و هم احساس کند حتی اگر در فضای مجازی یا فرمی از واقعیت مجازی[5] که دارای نمایشگر مجازی سه بعدی برروی جسم حقیقی سه بعدی است، باشد.

---

1- Thumb piano
2- Percussion instrument
3- Haptic paintbrush
4- Fine-tuned
5- Augmented reality

از نقطه نظر تبلیغاتی، یک شرکت می‌تواند کاتالوگ محصولات را با کمک وسایل هپتیک لامسه نمایش دهد. یک نفر می‌تواند مجموعه‌ای از پارچه‌های لباس را تصور کند که امکان احساس بافت مواد آن وجود دارد یا ابزار نیرو که عملکرد آنها می‌تواند دیده و احساس شوند.

**۵-۹ کاربردهای چندکیفیتی و شبیه‌سازها**

نمایش نیروی بازخورد در دو یا سه بعد طراحان تعاملات سیستم را قادر می‌سازد تا راه‌های دیگر بازخورد را فراهم کنند. رانندگان، ناخدایان کشتی یا خلبانان می‌توانند برای کنترل وسیله در نمایش‌های هپتیک(شبیه-سازها) در مقیاس بزرگ آموزش داده شوند. به عنوان مثال یک شبیه‌ساز پرواز کابینی است که بر روی یک سیستم مکانیکی قرار گرفته شده است (بر اساس حرکات الکترونیک یا سیستم بالا بر هیدرولیکی). شبیه ساز به وروردی اعمالی از سوی کاربر و وقایع در طی شبیه‌سازی واکنش نشان می‌دهد. هنگامی که خلبان هواپیما را هدایت می‌کند اتاقکی که در آن نشسته است منحرف یا کج می‌شود که باعث بازخورد هپتیکی می‌شود. بعضی شبیه‌سازهای پرواز یک اتاقک کاملا محصور را شامل می‌شوند در حالیکه بقیه براساس یک سری صفحه نمایش کامپیوتر برای پوشش دادن حیطه دید خلبان شکل گرفته‌اند.

برای افزایش احساس حضور در صحنه‌های مجازی عناصر غیردیداری مانند سخنرانی، صدا یا موسیقی ممکن است اضافه شود. به عنوان مثال بعضی از پارک‌های تفریحی احساس حضور در یک صحنه فیلم را (حتی هیجانی) و با اضافه کردن تاثیرات واقعی آتش، مه، جریان‌های آب ناگهانی یا طوفان برای بازدیدکنندگان فراهم می‌آورند، بازخورد هپتیک با تکان دادن وسایلی که بازدیدکنندگان در آن نشسته‌اند یا با حرکت دادن شاخه‌هایی که بر روی آن نشسته‌اند پدید می‌آید. تعاملات چند کیفیتی به سیستم برمی‌گردد که شامل کانال‌های خروجی متعدد و وسایل وروردی مختلف است. به طور خاص ،یک تعامل چند کیفیتی میتواند از طرق مختلف ارایه شود، چه با جایگزین کردن چند عامل یا با اضافه کردن یک عنصر به طور اضافی. به عنوان مثال مطالعاتی تحت عنوان "سرجای خودش قرار بده" "Put That There" با اشاره کردن به یک شیء در فضای سه بعدی ممکن است با دستورات گفتاری همراه شود. کاربرانی که تعاملات چند کیفیتی طبیعی‌تری را تجربه می‌کنند، خطاهای کمتری مرتکب می‌شوند و دقت لازم برای شناخت ورودی می‌تواند ارتقاء یابد.

تعاملات چندکیفیتی همچنین در تکنولوژی‌های کمک‌رسان نیز یافت می‌شود که برای افراد با بینایی کم یا نابینا استفاده می‌شود. خط بریل بوسیله حس‌لامسه سر انگشتان جستجو و خوانده می‌شود. خروجی سخنرانی با خروجی بریل هماهنگ شده و تعداد خطاها و سوء برداشت‌ها را در تعاملات کاهش می‌دهد. امروزه نمایشگرهای هپتیک دو وجهی معمولا به عنوان وسایل ورودی حساس به لمس ساخته می‌شوند و تمرکز یک یا چند انگشت را ممکن می‌کنند. تکنولوژِی کمکی از این مفهوم برای شناخت حالات هنگام خواندن استفاده می‌کند. یک نابینا ممکن است بریل را با انگشتانش بخواند ولی سرعتش را به حرکت به سمت انتهای خط افزایش می‌دهد تا حالت فرمانی برای تغییر عامل ایجاد کند. به جای خواندن بریل کامپیوترها سخنان را پردازش می‌کنند و خواننده که به انتهای میله بریل رسیده است به خروجی بیان شده گوش می‌دهد.

نقشه‌های لمسی اطلاعاتی را در باره عوامل جغرافیایی از طریق تعاملات هپتیک شنوایی نمایش می‌دهند. بافت، خطوط و دیگر ساختارهای برجسته جستجو با دو دست را فراهم می‌آورند. لمس یک نقشه لمسی با امکانات ورودی موجب تولید خروجی‌های صوتی برای مطلع کردن کاربر می‌شود به عنوان مثال نام‌های مکان و خیابان‌ها. یک وسیله ماتریس محور با بیش از ۷۰۰۰ سوزن می‌تواند برای اجرای نقشه لمسی و به روزرسانی اطلاعات متحرک جغرافیایی استفاده شود.

## ۶ طراحی تعاملات لامسه/هپتیک

### ۶-۱ راهنماهای طراحی برای تعامل لامسه/ هپتیک

#### ۶-۱-۱ طراحی انسان محور

تعاملات لامسه/هپتیک باید براساس محتوای فعالیت‌های طراحی انسان محور شرح داده شده در استاندارد ISO 9241-210 طراحی شود.

#### ۶-۱-۲ طراحی تعاملات فردی

تعاملات فردی باید بر اساس ملاحظات استاندارد ISO 9241-110 طراحی شوند.

#### ۶-۱-۳ طراحی واسطه های لامسه/هپتیک

واسطه‌های لامسه/ هپتیک باید بر اساس راهنمای ارگونومی در دسترس در ارتباط با اجزای سخت افزاری و نرم-افزاری واسط کاربری طراحی شود. این طراحی باید شامل موارد زیر باشد.

الف- انتخاب تکنیک های محاوره مناسب برای تعامل

ب- اصول و ضوابط طراحی برای وسایل ورودی فیزیکی برگرفته از استاندارد ISO 9241-410

پ- ویژگی های اطلاعات ارایه شده برگرفته از استاندارد ISO 9241-12

**یادآوری ۱**- راهنماهای جاری برای تکنیک‌های محاوره‌ای[1] می‌تواند در استاندارد ISO 9241-14 قابل دسترس باشد.

**یادآوری ۲**- ویژگی‌های اشاره شده در پیوست پ برای نمایشگرهای تصویری توسعه پیدا کرده و می‌توانند برای طراحی ورودی و خروجی لامسه/هپتیک به کار برده شوند.

**یادآوری۳**- استفاده از نمایشگرهای هپتیکی می‌تواند در برگیرنده زمان بیشتری برای درک اطلاعات نسبت به نمایشگرهای تصویری باشد.

1- Dialogue techniques

### ۶-۲ طراحی فضای لامسه/هپتیک

#### ۶-۲-۱ کلیات

۶-۲-۱ اشیای لامسه/هپتیک و فضاهای فیزیکی، زمانی و منطقی باید مطابق با راهنمای استاندارد-ISO 9241 920 باشد.

۶-۲-۲ طراحی تعاملات لامسه/هپتیک باید در برگیرنده فضاهای فیزیکی، زمانی و منطقی که در آنها اتفاق می افتد باشد.

الف- فضای فیزیکی دربرگیرنده جانمایی، موقعیت و پیکربندی اشیای لامسه/هپتیک در ارتباط با کاربر و سایر اشیایی که ممکن است در تعامل با کاربر باشد است. در طراحی فضای فیزیکی ابعاد مهم است.

ب- فضای زمانی در برگیرنده استفاده از پارامترهای زمانی در تعامل لامسه/هپتیک شامل شکل موج تحریک، ریتم و دیگر الگوهای زمانی، تغییرات زمانی در دامنه و فرکانس تحریک و استفاده زمانی از چندین فعال‌کننده لامسه/ هپتیک می باشد.

پ- فضای منطقی شامل یک درک مفهومی از چگونگی تعامل کاربر با اشیا و اطلاعات می‌باشد. برنامه‌های کاربری استفاده شده فضای منطقی را به وجود می‌آورد.

فضای منطقی اطلاعات ساختاری ارتباط (مثل خطی، مرتبه‌ای یا شبکه‌ای) و تکنیک‌های تعاملی را شامل می-شود. فضای منطقی وابسته به ابعاد ارایه شده نمی‌باشد. ارتباطات در طراحی فضای منطقی مهم می‌باشد.

نقشه فضای منطقی روی فضاهای زمانی و فیزیکی ممکن است براساس نیاز تعادل بین شناسایی و نمایش مقید شود.

**یادآوری**- طراحی تعاملات با استفاده از نمایشگرهای ویدیویی در برگیرنده جانمایی اجزای واسط کاربری در فضاهای دوبعدی محدود می‌شود.

به دلیل محدودیت‌های این فضا، طراحی گرایش پیدا می‌کند به تمرکز روی جنبه‌های دیداری از این جانمایی، با ملاحظات کم برای فعالیت‌های مورد نیاز کاربر در کار با اجزای واسط کاربری که در این فضا قرار گرفته‌اند.

طراحی تعاملات لامسه/هپتیک می‌تواند در برگیرنده جانمایی اجزای واسط کاربری لامسه/هپتیک با قابلیت نامحدود در فضای سه بعدی باشد. آن همچنین دربرگیرنده طراحی عمل و عکس‌العمل‌های کاربر در این فضا است.

#### ۶-۲-۲ طراحی فضای منطقی

۶-۲-۲-۱ فضای منطقی باید آزاد از هر بعدی باشد.

۶-۲-۲-۲ طراحی باید به صورت شفاف و واضح منعکس کننده ارتباطات با اطلاعات باشد.

### ۶-۲-۳ طراحی فضای فیزیکی

۶-۲-۳-۱ ارتباطات مربوط به فضای فیزیکی باید تطابق کامل با راهنمای ارگونومی براساس جهت و راستای مکانی حرکات برابر استاندارد ISO 1503 داشته باشد.

۶-۲-۳-۲ ابعاد و محتوای فضای فیزیکی که تعاملات لامسه/هپتیک در آن اتفاق می‌افتد باید شامل توانایی کاربر در عمل و عکس‌العمل در این فضا باشد.

**یادآوری**- راهنمای ارگونومی مرتبط شامل استاندارد ISO 9241-5 در برگیرنده راهنمای جانمایی فضای کاری و الزامات حفظ وضعیت بدنی باشد. استاندارد ISO 11064-4 دربرگیرنده راهنمای جانمایی و ابعاد فضاهای کاری برای استفاده در اتاق‌های کنترل و استاندارد EN 894-4 در برگیرنده راهنمای ارگونومی و ایمنی برای مکان و چیدمان نمایشگرها و حسگرهای کنترلی می باشد.

## ۶-۳ آدرس دهی و توان تفکیک در تعامل لامسه/هپتیک

### ۶-۳-۱ کلیات

آدرس‌دهی و توان تفکیک باید در طراحی تعاملات لامسه/ هپتیک در نظر گرفته شود.

یک ویژگی سامانه حسی لامسه/هپتیک این است که اطلاعات می‌تواند در هر دو مسیر جریان پیدا کند. اطلاعات لازم است از وسیله به کاربر جریان یابد اما آنجا همچنین می‌تواند یک جریان از کاربر به وسیله وجود داشته باشد.

از منظر سامانه، هم کاربر هم وسیله آدرس‌دهی خروجی و توان تفکیک ورودی مربوط به خود را دارند.

**مثال:** یک نمایشگر لامسه تحریک به نوک انگشتان را با استفاده از یک تعداد میله یا سوزن بر روی صفحه مشبک مستطیلی ارایه می‌کند، توان تفکیک و ابعاد شبکه براساس طراحی وسیله مشخص می‌شود.

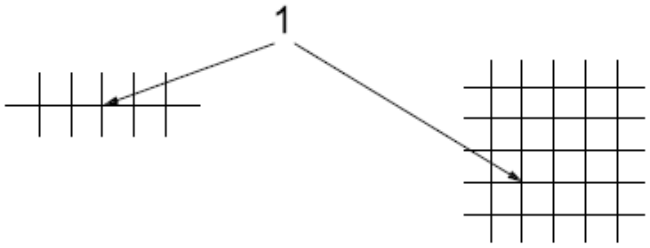
برای هر مسیر اطلاعاتی یک آدرس‌دهی برای فرستنده و یک توان تفکیک برای گیرنده وجود دارد. به عنوان مثال در حالی که یک وسیله بازخورد نیرو را فراهم می‌کند وسیله یک نیرو با یک آدرس‌دهی مشخص تولید می‌کند و کاربر این نیرو را با یک توان تفکیک معین دریافت می‌کند. در همان لحظه کاربر به یک موقعیت با آدرس‌دهی معین جابه جا می‌شود و وسیله این جابجایی را با یک توان تفکیک مشخص اندازه‌گیری می‌کند.

آدرس‌دهی و توان تفکیک برای همه پارامترهای تعامل لامسه/هپتیک شامل سیگنال‌های دینامیکی زمانی کاربرد دارد.

با هر نوع نمایشگری حواس با نقاط داده منفردی تنظیم می‌شوند که می‌توانند در کنار هم یک تصویر ذهنی به عنوان مثال یک سطح را متناظر کنند.

### ۶-۳-۲ آدرس‌دهی خروجی لامسه/ هپتیک

آدرس‌دهی یک وسیله لامسه/ هپتیک یک ویژگی فیزیکی مربوط به خود وسیله است. آن دربرگیرنده نقاط منفردی است که داده‌ها می‌توانند نمایش داده شوند (نقاط داده). نقاط داده می‌تواند چیدمان مناسبی براساس کاربرد داشته باشد. به عنوان مثال در یک آرایه خطی به صورت مستقیم یا خمیده همانطور که در شکل ۲-الف نشان داده شده و یا در یک آرایه ۲ بعدی (یا بیشتر) که در شکل ۲-ب نشان داده شده است.




ب- دوبعدی الف- خطی

**راهنما:**

۱- نقطه داده (نقاطی که داده نشان داده می‌شود یا احساس می‌شود.)

**شکل۲- آرایه‌های خطی و دو بعدی**

فضای نقاط داده آدرس‌دهی شده می‌تواند از محوری به محور دیگر و حتی در طول هر محور متفاوت باشد. به هرحال آدرس‌دهی معمولا خیلی زیاد بین محورها روی همان وسیله نمایش تغییر نمی‌کند. این موضوع به طور ویژه وقتی که آرایه متمایزی از یک شیء مورد نیاز است، صادق است.

آدرس‌دهی کاربر به وسیله ذهن کاربر و قابلیت کنترل موتور تعیین شده است.

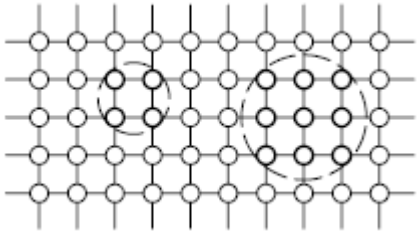
**۶-۳-۳ توان تفکیک‌ورودی لامسه/ هپتیک**

**۶-۳-۳-۱** توان تفکیک لامسه/هپتیک از یک وسیله، درجه‌ای از خروجی فیزیکی از یک کاربر که می‌تواند توسط وسیله مشخص شود تعریف می‌شود.

**۶-۳-۳-۲ کاربر**

توان تفکیک به طور مستقیم مربوط به محل حسگرهای لمسی کاربر به عنوان مثال نوک انگشتان است. تعداد حسگر بیشتر در واحد سطح توانایی توان تفکیک بیشتر را به همراه دارد.

شکل ۳ بیانگر آدرس‌دهی نقاط داده حس شده توسط حسگرهای تماسی انسان با قابلیت توان تفکیک برای ۴ و ۹ نقطه‌ای نمایش داده شده است.

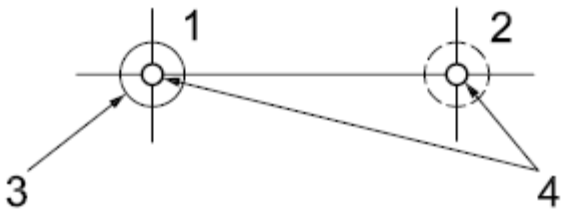


**شکل۳- نقاط داده قابل آدرس‌دهی**

**۶-۳-۴ توان تفکیک لامسه/ هپتیک و ارتباط آن با آدرس‌دهی لامسه/ هپتیک**

در بیشتر حالات همانطور که در شکل ۳ نمایش داده شده است آدرس‌دهی یک وسیله برابر با حداقل توانایی تفکیک نقاط داده در انسان می‌باشد. این موضوع بیان‌گر این مطلب است که نقاط داده یا فاصله‌های بین آنها نمی‌تواند به صورت منفرد تفکیک شوند.

در بعضی کاربردها، که هر نقطه داده لازم است توسط کاربر انسانی حس شود و از دیگری تمایز داده شود. مهم است که یک آدرس‌دهی با فضای گسترده‌تر از توانایی توان تفکیک کاربر داشته باشیم. ساده‌ترین مثال این موضوع وجود دو نقطه اطلاعاتی مختلف به عنوان مثال بله یا خیر، همان طور که در شکل ۴ نمایش داده شده می‌باشد.




**راهنما:**

1 بله
2 خیر
3 تفکیک پذیری تماسی انسانی
4 نقاط داده قابل آدرس‌دهی

**شکل۴- دو نقطه ارایه‌دهنده اطلاعات مختلف**

با وسایل لامسه/هپتیک نه تنها نیاز است کاربر انسانی اطلاعات نمایش داده شده، توسط آرایه لامسه/هپتیک را حس کند بلکه لازم است توانایی مشخص‌کردن سهم نیروهای وارد شده به وسیله در مقابل مقاومت حرکتی از وسیله لامسه/ هپتیک را هم داشته باشد.

توانایی مشخص‌کردن سهم نیروها در راستای اجازه کاربر برای شناسایی ویژگی‌های فیزیکی یک شیء مجازی[1] ضروری است. ویژگی‌ها همچون سختی، زبری و کشسانی می‌توانند با اعمال فشار نوک انگشتان( یعنی نیروی تقسیم بر سطح تماس) شناسایی شوند. قابلیت آدرس‌دهی انسان در اعمال نیرو کمتر از آدرس‌دهی وقتی که فقط حس می‌کند است، پس اعمال نیرو دقت کمتری از حس‌کردن دارد.

1- Virtual object

## ۷-تعامل کاربر- وظایف پایه

### ۷-۱ کلیات

کاربرها می‌توانند وظایف کاربری را با به کارگیری یک یا چند وظیفه پایه فراهم شده توسط یک وسیله لامسه /هپتیک و نرم افزارهای واسطه انجام دهند. وظایف پایه با عملگرهای سیستم به عنوان ابزاری برای کاربران در انجام وظایفی که وسیله برای آن طراحی شده است فراهم می‌شوند در هر وظیفه، کاربر باید قادر به موارد زیر باشد:

- جستجو،
- بدست آوردن دید کلی،
- هدف،
- انتخاب و
- انجام کار با مهارت.

### ۷-۲ جستجو

سامانه باید به کاربران اجازه شروع یک جستجو برای یک شیء خاص لامسه/هپتیک، برای قسمتی از یک شیء یا برای یک مورد اطلاعاتی را داده و وقتی جستجو هدایت شده است نتایج مورد نیاز را به آنها ارایه کند.

**یادآوری**- این موضوع می‌تواند در تقابل با "هدف‌گذاری" یک شیء باشد(به بند ۷.۵ مراجعه شود). منظور از "هدف قرار دادن" یک شیء، پیدا کردن چیزی است که فورا ظاهر می‌شود، منظور از "جستجو" برای یک شیء، به عهده گرفتن یک وظیفه با مدت زمان بیشتر نسبت به هدف‌گذاری است.

**مثال۱:** جستجو توسط یک وسیله که بازخورد نیرو با یک نقطه تماس با شیء هپتیک را فراهم می‌کند با ایجاد تعدادی نیروی در مرکز جسم هپتیک و نه خیلی دور از محل برخورد حمایت می‌شود.

**مثال ۲:** جستجو برای متن بر یک نمایشگر بریل شامل قرار دادن رشته‌هایی که احتمالا توسط فاصله‌های بزرگ از یکدیگر جدا شده‌اند می‌شود. خواننده‌های خط بریل با تجربه از یک انگشت برای جستجو ابتدای متن جدید (اشیای هپتیک ) و از انگشت دیگر برای ردیابی روی اشیاء هپتیک استفاده می‌کنند.

### ۷-۳ مرور کلی

سامانه باید به کاربر اجازه یک مرور سریع کلی از اشیا لامسه/هپتیک جانمایی آنها و ارتباط آنها با یکدیگر و کاربر را بدهد.

**یادآوری**- فراهم نمودن یک مرور کلی موثر در ساده‌سازی ردیابی و فرآیند شناسایی مهم است اما می‌تواند برای به کارگیری وسایل لامسه/ هپتیک با تماس تک نقطه‌ای سخت باشد.

**مثال:** یک مرور کلی از وسایل هپتیکی با سایز کوچک ایجاد می شود. مرور کلی وقتی واضح است که ردیابی از داخل یا خارج شیء هپتیکی شروع شود.

### ۷-۴ ردیابی[1]

۷-۴-۱ یک سامانه باید به کاربران اجازه حرکت در بین اشیا لامسه/ هپتیک به منظور پیدا کردن یک شیء برای شناسایی فضا را بدهد.

۷-۴-۲ یک سامانه باید به کاربران اجازه مشخص کردن موقعیت آنها در فضای لامسه/هپتیک و پیدا کردن مسیر بهینه برای رسیدن به اطلاعات و اشیا مورد نیاز را دهد.

**یاد آوری ۱-** ردیابی می‌تواند سخت بوده و باعث شکست در پیدا کردن هدف برای کاربرانی که در فضای لامسه/هپتیک گم شده‌اند بشود.

**یادآوری ۲-** به استاندارد ISO 9241-920:2009 و بند ۶-۱ مراجعه شود.

**یادآوری ۳-** در حالت تعامل لامسه/ هپتیک وظایف پایه ردیابی شده می‌توانند ردیابی را در تعداد ابعاد زیاد قادر سازند برای مثال درجات آزادی در فضای فیزیکی و نقاط مختلف تماس، شامل قسمت‌های مختلف بدن

**یادآوری ۴-** درنظر گرفتن یک مرور کلی برای شروع فرآیند ردیابی مهم است. اگرچه این می‌تواند دشواری‌هایی را در یک نمایشگر لامسه/هپتیک اضافی برای به کارگیری در تعامل به همراه داشته باشد. یک نمایشگر لامسه/ هپتیک یا ابعاد جایگزین می‌تواند برای فراهم آوردن مرور کلی به کار رود.

**مثال:** ردیابی براساس ترکیب یک وسیله نقلیه‌ای با بازخورد لامسه شکل می‌گیرد.

این امر ممکن است دستی و با به کارگیری آرایه‌های بزرگ از سوزن‌های[2] لامسه بر مبنای حرکات جارویی انگشتان یا به وسیله بازوهای مکانیکی یک نقطه تماس لمس شده با انگشت فراهم شده انجام شود.

### ۷-۵ هدف‌گذاری[3]

سامانه باید به کاربران اجازه شناسایی و پیدا کردن یک شیء یا یک آیتم از اطلاعات را به درستی و سرعت بدهد.

**یادآوری ۱:** هدف‌گذاری کردن یک شیء روشی در پیدا کردن سریع و موثر آن است.

جستجو یک شیء فرآیند آشکارسازی برخی موارد است که در مرحله اول آشکار نیستند.

**یادآوری ۲:** یک شیء می‌تواند هم از دیدگاه جستجو یا هدف‌گذاری انتخاب شود.

**مثال:** یک وسیله که مهیاکننده بازخورد نیرو است حامل کلیدها و دیگر حسگرها متصل به یک تماس تک نقطه‌ای انگشت است به شکلی که دست حرکت نمی‌کند و تنها یک یا تعداد بیشتر انگشتان برای تحریک حسگر وقتی اشیا هدف‌گذاری می‌شوند، لازم است.

---

1- Navigating
2- Pins
3- Targeting

### ۷-۶ انتخاب[1]

#### ۷-۶-۱ کلیات

سامانه باید به کاربران اجازه انتخاب اشیاء به صورت تکی یا چندتایی را دهد.

**یادآوری**: این موضوع دربرگیرنده عدم انتخاب یک شیء یا اشیاء که قبلا انتخاب شده‌اند به جز مواقعی که یک گروه انتخابی مورد نظر است می‌باشد.

#### ۷-۶-۲ انتخاب شیء یا عملگر[2]

۷-۶-۲-۱ سامانه باید به کاربران اجازه انتخاب هر شیء یا عملگر که در آن زمان در دسترس است را بدهد.

۷-۶-۲-۲ سامانه باید به کاربران اجازه دهد این اقدامات را جدا از انجام هر فعالیتی روی شیء انجام دهند. برای مثال فعال‌سازی.

۷-۶-۲-۳ باید مشخص باشد کاربر به کدام اشیاء و عملگرها دسترسی دارد. بازخورد واضح هر انتخاب باید ارایه شود.

**یادآوری**: این موضوع در برگیرنده قابلیت انتخاب یک شیء از تعداد زیادی از اشیاء و به کارگیری توانایی تمایز مورد صحیح به وسیله ویژگی‌های آن باشد.

مثال: در نمایشگرهای بریل، انتخاب از طریق کلیدهایی تحت عنوان کلیدهای مسیریابی امکان‌پذیر است. این حسگرها کنار هر سلول بریل قرار گرفته و به وسیله حرکت سوزن وقتی که لمس می‌شوند یا به وسیله یک حسگر تماس درنظر گرفته شده روی سطح وسیله راه‌اندازی شده و می‌توانند برای انتخاب نماد بریل یا فعال کردن یک منوی کاربر فعال شود.

#### ۷-۶-۳ انتخاب گروه[3]

این سامانه باید به کاربران اجازه انتخاب هر گروه مشخصی از اشیا را که دردسترس می باشد اجازه دهد.

**یادآوری**- این موضوع دربرگیرنده انتخاب یک گروه از اشیاء از بسیاری از اشیاء و توانایی تمایز موارد صحیح به وسیله ویژگی‌های هر گروه می‌باشد.

#### ۷-۶-۴ انتخاب فضا[4]

سامانه باید به کاربران اجازه انتخاب هر بخش مشخص شده از فضای لامسه/هپتیک  که در دسترس آنها است را بدهد.

---

1- Selection
2- Object or function selection
3- Group selection
4- Space selection

**یادآوری**- این موضوع دربرگیرنده انتخاب یک بخش از فضا از کل آن و کاربرد قابلیت رسم مرزها به دور بخش موردنظر می‌باشد.

### ۷-۶-۵ انتخاب مشخصه سامانه[1]

سامانه باید به کاربران اجازه انتخاب هر مشخصه از سامانه که در حال حاضر دردسترس است و تغییر هر خاصیتی که مجاز باشد را بدهد.

### ۷-۷ انجام کار با مهارت[2]

#### ۷-۷-۱ کلیات

سامانه باید به کاربران اجازه کار، مدیریت یا تاثیرگذاری روی یک شیء مناسب با هدف را بدهد.

#### ۷-۷-۲ بزرگنمایی[3]

سامانه باید به کاربران اجازه تغییر مقیاس فضای لامسه‌ای/ هپتیکی که در آن در حال اجرای یک وظیفه هستند را بدهد.

**یادآوری**- این موضوع دارای تاثیر بر تغییر بزرگنمایی نمای مشاهده شده و هر آن چیزی که در آن می‌باشد، است.

#### ۷-۷-۳ جهت‌یابی مجدد[4]

سامانه باید به کاربران اجازه تغییر جهت فضای لامسه/هپتیک را در زمان اجرای یک هدف دهد.

**یادآوری**- این موضوع تاثیر بر تغییر نمای ظاهر و همچنین امکان تغییر موقعیت شیء نسبت به سایر اشیاء یا نشانگرها را دارد.

#### ۷-۷-۴ جابجایی[5]

سامانه باید به کاربران اجازه حرکت یک شی در فضای لامسه/هپتیک را دهد.

**یادآوری**- این موضوع به وسیله چسباندن یک نشانگر مجازی به شیء انتخاب شده و اعمال نیروهایی در جهت‌های مورد نظر انجام می‌شود تا زمانیکه شیء به منظر مورد نظر و موقعیت جدید مورد نیاز برسد. نشانگر سپس ازشیء جدا می‌شود.

#### ۷-۷-۵ تغییر اندازه[6]

سامانه باید به کاربران اجازه تغییر اندازه شیء در فضای لامسه/ هپتیک را دهد.

---

1- System property selection
2- Manipulation
3- Zooming
4- Reorienting
5- Moving
6- Sizing

### ۷-۷-۶ بازرسی مشخصه[1]

۷-۷-۶-۱ سامانه باید به کاربران اجازه بازرسی مشخصه‌های اشیاء در فضای لامسه/ هپتیک بدون فعال‌سازی آنها را دهد.

۷-۷-۶-۲ سامانه باید به کاربران اجازه مشخص نمودن خواص قابل اصلاح را بدهد.

**مثال:** سفتی یک شیء نرم بدون بررسی سطح هپتیکی اشیاء به دلیل نیروهای انعکاسی غیرقابل تخمین خواهد بود. به عنوان مثال در کاربردهای لاستیک‌ها.

### ۷-۷-۷ ایجاد وحذف[2]

سامانه باید به کاربران اجازه ایجاد و حذف اشیاء در فضای لامسه / هپتیک را متناسب با وظیفه بدهد.

### ۷-۷-۸ اصلاح مشخصه (مشخصه ها و رابطه ها)[3]

سامانه باید به کاربران اجازه اصلاح مشخصه‌های اشیا لامسه/هپتیک را متناسب با وظیفه بدهد.

**مثال:** کاربران قادر هستند ویژگی‌های سطحی یک شیء را بر اساس تناسب با توانایی‌ها یا اولیت‌ها اصلاح کنند.

## ۸- عناصر تعاملی لامسه/ هپتیک[4]

### ۸-۱ کلیات

عناصر لامسه/ هپتیک بلوک‌های ساختاری نرم‌افزاری هستند که می‌توانند ترکیب‌شده و الگوهای پیچیده ارتباطی لامسه هپتیک را برای استخراج اطلاعات و انتقال به کاربر تولید کنند.

عناصر لامسه/هپتیک دارای دو بخش اثرات لامسه/هپتیک و خواص اشیا می‌باشند. در حوزه اثرات لامسه/هپتیک اثرات عملگرایی و اثرات وابسته به زمان وجود دارد. در حوزه خواص شیء خواص کلی و خواص سطحی قرار می-گیرد.

**یادآوری**: زمانی که اثرات هپتیک در یک فرکانس فراتر از دامنه دینامیکی تعامل کاربر هستند به خصوص وقتی که در چنین فرکانس‌هایی شروع به کار می‌کنند اثرات هپتیک یک جهته هستند و صرفا بیانگر اطلاعات به کاربر می‌باشند.

### ۸-۲ اثرات عملکردی لامسه/هپتیک[5]

#### ۸-۲-۱ کلیات

اثرات عملکردی لامسه/هپتیک بازخورد هپتیکی تولید شده را به عنوان تابعی از عکس‌العمل اندازه‌گیری شده کاربر تغییر می‌دهد.

---

1- Attribute inspection
2- Creation and deletion
3- Modifying attributes (attributes and relationships)
4- Tactile/haptic interaction elements
5- Tactile/haptic functional effects

**یادآوری ۱**- اثرات درک حسی-حرکتی معمولا دو جهته هستند در حالیکه اثرات لامسه معمولا یک جهته هستند.

**یادآوری ۲**- از آنجایی که تاثیرات لامسه فقط یک جهته هستند وسایل لامسه اغلب به نمایشگرهای لامسه با تاکید بر خواص یک جهته نمایش اطلاعات به عنوان نمایشگر دیداری یا شنیداری گفته می‌شود.

**مثال:** با یک وسیله کنترل امپدانس اثرات عملگر، خروجی نیروهای یک وسیله را براساس مکان شناساگر راتغییر می‌دهد، برای مثال شبیه سازی اثر یک فنر.

### ۸-۲-۲ فعال و غیرفعال‌سازی اثرات[1]

همه اثرات عملگر لامسه/هپتیک دردسترس برای یک وسیله مشخص لامسه/هپتیک باید قابلیت فعال و غیرفعال-سازی به طور مستقل را داشته و نباید روی همدیگر تاثیر گذارند.

### ۸-۲-۳ بردار نیرو[2]

یک بردار نیرو می‌تواند به بازخورد لامسه/هپتیک در موقعیت جاری شناساگر به طور غیروابسته از راستای موجود شناساگر اضافه شود.

**یادآوری**- وقتی که یک سطح تماس نقطه‌ای درگیر است در مبحث جهت معمولا مهم نیست که کاربر یک انگشت‌دانه پوشیده یا یک قلم را نگه داشته است.

### ۸-۲-۴ میدان نیرو[3]

اثر میدان نیرو، یک بردار نیرو را به بازخورد لامسه/هپتیک اضافه می‌کند که در پارامترهای آن فضا مشخص می-شود و بستگی به مکان شناساگر دارد.

**یادآوری**- مختصات یک میدان نیرو می‌تواند در یک خط یا حجم وابسته به فضای کاری از محیط مجازی مشخص می‌شود.

**مثال ۱:** میدان جاذبه یک میدان نیرو است که پارامترهای آن در مختصات فضای سه بعدی تعریف می‌شود که یک بردار نیرو با دامنه صعودی نمایی را هنگام حرکت شناساگر به سمت یک نقطه مشخص در فضا اضافه می‌کند.

**مثال ۲:** یک میدان مغناطیسی یک نوع میدان نیرو است که پارامترهای آن در خطوط میدان در فضای اطراف یک آهنربا مشخص می‌شود.

---

1- Activation and deactivation of effects
2- Force vector
3- Force field

**۸-۲-۵ اثر فنر**[1]

یک اثر فنر باید یک نیرو متناسب با یک ضریب مشخص و فاصله موقعیت شناساگر از یک نقطه مشخص تولید کند.

**۸-۲-۶ اثر میرایی**[2]

یک اثر میرایی باید یک نیرو متناسب با یک ضریب مشخص و سرعت حرکت شناساگر تولید کند.

**۸-۲-۷ اثر جرم**[3]

یک اثر جرمی باید یک نیرو متناسب با یک ضریب مشخص و شتاب حرکت شناساگر تولید کند.

**۸-۲-۸ میدان دما**[4]

میدان دما مشخص‌کننده یک دمای خاص برای بازخورد لامسه/هپتیک است که وابسته به موقعیت شناساگر در فضای مجازی است.

**یادآوری**- توصیه می‌شود هنگام طراحی یک میدان دمایی از عملگر نمایشگرهای دمایی پهنای باند پایین در نظر گرفته شود.

**۸-۳ خواص لامسه/هپتیک اشیاء**[5]

**۸-۳-۱ خواص اشیاء**[6]

اشیا می‌توانند دربرگیرنده خواص لامسه /هپتیک باشند.

**یادآوری**- برخی خواص شی که از هپتیک بدست می آید با اصطلاحات و کاربردهای ارائه شده در توصیف اشیا با کمک بینایی، به خصوص در ارتباط با خواص هندسی از قبیل موقعیت، اندازه و شکل، موازی پیش می‌رود.

در دیگر ملاحظات از قبیل وزن، دما و خواص ماده (نرمی- سفتی، زبری- صافی)، هپتیک می‌تواند منحصر به فرد باشد و اطلاعاتی را تهیه کند که از طریق بینایی یا شنوایی قابل دستیابی نباشد.

**۸-۳-۲ خواص کلی شیء**[7]

**۸-۳-۲-۱ موقعیت، شکل و اندازه**

موقعیت، شکل و اندازه می‌تواند برای ایجاد تمایز بین اشیا لامسه/ هپتیک استفاده شود.

---

1- Spring effect
2- Damping effect
3- Mass effect
4- Temperature field
5- Tactile/haptic properties of objects
6- Properties of objects
7- General object properties

### ۸-۳-۲-۲ سفتی

سفتی بیانگر پاسخ هپتیکی به تعاملات نیروی عمود بر سطح شیء می‌باشد.

**یادآوری ۱**- این پاسخ می تواند خطی، با یک ضریب متناسب با عمق نفوذ باشد. عمق می‌تواند بین نقطه تماس اولیه (بین شناساگر و شیء) و موقعیت لحظه‌ای شناساگر در شیء مجازی محاسبه شود. عمق همچنین ممکن است به وسیله درون‌یابی موقعیت شناساگر در نزدیکترین فاصله از سطح شیء محاسبه شود.

**یادآوری ۲**- یک شیء نمونه گاهی بکار برده می‌شود. این شیء نمونه در نقطه تماس اولیه قرار می‌گیرد بنابراین عمق می‌تواند براساس فاصله شیء نمونه و موقعیت لحظه‌ای شناساگر محاسبه شود. همچنان که شناساگر به داخل شیء مجازی حرکت می‌کند شی نمونه می‌تواند روی سطح تغییر شکلی نیافته شیء مجازی بچرخد.

**یادآوری ۳**- سفتی بدست آمده می‌تواند تحت تاثیر اصطکاک مکانیکی، فرکانس هپتیکی، اینرسی، سفتی مکانیکی و توان تفکیک مکانی باشد.

### ۸-۳-۳ خواص سطحی[1]

### ۸-۳-۳-۱ کلیات

سطح شی لامسه/هپتیک می تواند نشان دهنده خواص مختلف باشد. برای اثر واقعی‌تر از اشیا مجازی همه خواص می‌توانند بکار گرفته شوند.

### ۸-۳-۳-۲ سطح اصطکاک[2]

عناصر لامسه/هپتیکی می‌توانند دارای سطوح مختلفی از اصطکاک باشند. اصطکاک می‌تواند با روش‌های مختلفی مدل شود.

**یادآوری ۱**- اثرات هپتیکی منتج از سطح اصطکاکی شامل اصطکاک ایستا (نیروی مانع در برابر حرکت جسم در شروع حرکت ) و اصطکاک دینامیکی (یک نیروی مقاوم که به صورت پیوسته در خلاف جهت حرکت جسم اعمال می‌شود) می‌باشد. اصطکاک دینامیکی می‌تواند وابسته به سرعت حرکت باشد.

**یادآوری ۲**- اصطکاک می‌تواند به روش‌های مختلف مدل شود.

### ۸-۳-۳-۳ سطح مغناطیسی[3]

یک سطح مغناطیسی نقطه تماس وسیله را وقتی فاصله شناساگر و سطح به کمتر از یک مقدار مشخص می‌رسد، جذب می‌کند. نیروی جذب می‌تواند تابعی از این فاصله باشد برای مثال آن می‌تواند به طور خطی با فاصله کاهش پیدا کند.

---

1- Surface properties
2- Frictional surface
3- Magnetic surface

**یادآوری**- سطوح مغناطیسی همچنین می‌توانند به صورت چسبنده و وابسته به پارامترهای نیرو تشریح گردند.

### ۸-۳-۳-۴ الگوی سطح[1]

الگوی سطح یک تغییر متناوب از شکل سطح یک شیء در مقیاس کوچک می‌باشد. الگوی سطحی می‌تواند به طور فعال توسط کاربر شناسایی شود.

**یادآوری۱**- الگوی سطح می‌تواند معمولا به عنوان یک مشخصه پایه اختیاری تعریف شود که به طور متناوب بر روی کل سطح برای ذخیره توان محاسبات تکرار می‌شود.

**یادآوری۲**- قابلیت نمایش ویژگی الگوی سطح توسط وسیله لامسه/ هپتیک وابسته به توان تفکیک سامانه حسگر آن می‌باشد.

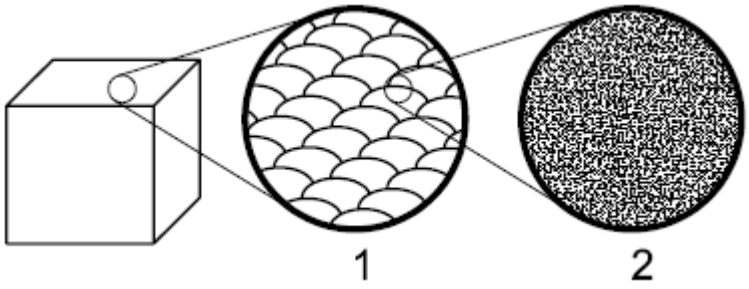
### ۸-۳-۳-۵ زبری[2]

زبری بیانگر یک تغییر نامنظم در پروفایل سطح شیء می باشد.

**یادآوری ۱**- اگرچه الگو ویژگی‌های متناوب دارد، زبری به طور طبیعی با ویژگی‌های تصادفی توصیف شده است. به شکل ۵ مراجعه شود.

**یادآوری۲**- زبری می‌تواند با حرکات پشت سرهم بدست آید.

**یادآوری۳**- عناصر لامسه/هپتیک می‌تواند سطح‌های مختلف از زبری داشته باشد. زبری گاهی به عنوان جریان سینوسی یا تغییرات تصادفی در شکل سطح بیان می‌شود.




**راهنما:**

1 الگوی سطح

2 زبری

**شکل۵- رابطه بین شکل، الگوی سطح و زبری**

1- Texture

2- Roughness

**۸-۳-۳-۶ خواص دمایی[1]**

یک سطح می‌تواند خواص دمایی مشخصی داشته باشد به عنوان مثال درجه حرارت و هدایت حرارتی.

**یادآوری**- خواص دمایی تعریف شده می‌تواند منجر به پیشرفت واقعیت محیط‌های مجازی شود.

**۸-۴ عناصر کنترل[2]**

**۸-۴-۱ عناصر با بازخورد هپتیک[3]**

فضای کاری تعامل لامسه/ هپتیک می‌تواند شامل عناصر کنترل با بازخورد هپتیک، مانند کلیدها باشد.

**یادآوری**- در نمایشگرهای بریل، این کلید ها برای مسیریابی استفاده می‌شود.

**۸-۴-۲ عناصر بدون بازخورد هپتیک[4]**

فضای کاری تعامل لامسه/هپتیک ممکن است شامل کنترل عناصر بدون بازخورد هپتیک، مثل سطح‌های حساس به لمس باشد.

**۸-۵ استفاده از واسط‌های چند نقطه تماسی[5]**

با استفاده از واسط‌های وسیله-بدن[6] با نقاط تماس فیزیکی چندتایی بین کاربر و وسیله، عناصر برهم‌کنش لامسه/ هپتیک بکار گرفته شده و موجب گسترش محدوده انتقال داده‌ها می‌شوند.

**مثال ۱:** یک نمایشگر با دو نقطه تماس می‌تواند نیروهای برشی را با ایجاد دو بردار نیرو در راستاهای مختلف به کاربر نمایش دهد.

**مثال ۲:** نمایشگرهای بریل از نقاط تماس چندتایی برای نمایش یک کاراکتر مشخص استفاده می‌کنند.

**۸-۶ عناصر ترکیبی و اثرات[7]**

همه عناصر و تاثیرات یاد شده بالا می‌تواند برای تولید الگوهای تعاملی پیچیده ترکیب شوند.

**۸-۷ قابلیت تمیز[8]**

همه الگوهای تولید شده باید برای توانایی تمیز داده شدن توسط کاربر آزمون شوند.

---

1- Thermal properties
2- Control elements
3- Elements with haptic feedback
4- Elements without haptic feedback
5- Using multi-point-contact interfaces
6- Device-body interfaces
7- Combining elements and effects
8- Distinguishability

# ۹ محدوده وسایل واسط لمسی/هپتیک[1]

## ۹-۱کلیات

وسایل لمسی/هپتیک در مرحله اول یا از طریق حس جلدی (پوستی) یا از طریق ترکیبی از حس جلدی و حس حرکتی عمل می‌کنند.

**یادآوری ۱**- برای بررسی و کسب اطلاعات در مورد وسایل لمسی به پیوست الف مراجعه شود.

**یادآوری ۲**- برای بررسی و کسب اطلاعات در مورد وسایل لامسه/ هپتیک برپایه بازخورد نیرو به پیوست ب مراجعه شود.

## ۹-۲ معیارهای انتخاب[2]

### ۹-۲-۱ تحرک[3]

در انتخاب یک وسیله لامسه/هپتیک، تحرک مورد نیاز برای انجام وظیفه باید مد نظر قرار بگیرد.

**یادآوری ۱**- وسایل قابل‌حمل را می‌توان به کمر، قسمت بالای بازو و/یا ساعد، یا به نقطه حمل یا اتصال به بدن آویزان کرد.

**مثال ۱:** می‌توان از یک اسکلت خارجی بازو برای تقویت قدرت بازوی انسان استفاده کرد. می‌توان آن را به پشت کاربر تکیه داد اما باید آن را با یک کابل به سیستم کنترل و منبع تغذیه وصل کرد.

**مثال ۲:** یک گوشی موبایل در جیب را می‌توان طوری تنظیم کرد که به جای تولید صدای آهنگ، لرزش تولید کند تا مزاحمت آن برای دیگران کاهش یابد.

**یادآوری ۲** - وسایل غیرقابل‌حمل را می‌توان روی یک میز، دیوار، سقف یا روی کف قرار داد.

**مثال ۳:** یک اسکلت خارجی بازو به دیوار یا سرویس‌های متعدد نصب شده روی کف زمین در پشت کاربر متصل می‌شود.

**مثال ۴:** صندلی‌های سینما با مکانیزمی حمایت می‌شود که می‌لرزند و تماشاگران را تکان می‌دهند تا آنها احساس درگیری بیشتری در تصاویر حرکتی داشته باشند.

**مثال ۵:** کاربر دستگیره‌های شبیه خودکار یک وسیله لامسه /هپتیک را به سمت راست یا چپ میدان بینایی خود می‌گیرد.

### ۹-۲-۲ واسط وسیله با بدن[4]

نقطه(های) تماس بین بدن و وسیله باید در هنگام انتخاب یک وسیله لامسه /هپتیک مدنظر قرار بگیرد.

**یادآوری ۱**- یک محرک هپتیک را می‌توان هم از طریق لمس و هم از طریق حرکت دریافت کرد. اگر اطلاعات در مرحله اول باید بیشتر از طریق لمس منتقل شوند تا از طریق فعالیت عضلات حس‌شده، آنگاه باید وسیله لمسی انتخاب شود.

**مثال ۱:** یک کاربر ناشنوا یک نمایشگر لمسی را می‌پوشد که فرکانس های شنوایی را به پوست شکم او منتقل می‌کند.

**یادآوری ۲** – می‌تواند چند نقطه تماس وجود داشته باشد. این نقاط شامل نوک انگشتان، کل دو انگشت یا بیشتر، دست راست یا چپ به شکل‌های مختلف چنگ زدن، هر دو دست، یک یا دو بازو، پاها یا تنها پنجه یا پاشنه هر پا هستند.

---

1- The range of tactile/haptic interface devices
2- Selection criteria
3- Mobility
4- Device-body interface

**مثال ۲:** آلات موسیقی معمولا نقاط تماس مختلفی دارند تا گرفتن الگوهای گوناگون را هنگام تولید موسیقی امکان‌پذیر سازند. کنسول یک عضو لوله‌ای دارای بسیاری کلیدهای شبیه پیانو هم برای انگشتان و هم برای پاها است. هر کلید شبیه یک وسیله لامسه /هپتیک یک درجه آزادی (برای درجه آزادی، به بند ۹-۲-۳ مراجعه کنید) است.

**یادآوری ۳**- یک وسیله لامسه /هپتیک می‌تواند به صورت فعال لمس‌شده و به صورت فعال یا غیرفعال حس شود، یا به صورت غیرفعال به بدن متصل شود و به صورت غیرفعال حس شود.

**مثال ۳:** یک وسیله لامسه /هپتیک نصب شده روی میز معمولا حین تعامل کاربر با صحنه مجازی قابل‌لمس نگه داشته و دست-کاری می‌شود.

**مثال ۴:** کاربر انگشت خود را روی آرایه‌ای از سوزن‌ها می‌گذارد تا حروف بریل را که زیر انگشتانش حرکت می‌کنند، حس کند.

**مثال ۵**: یک گوشی موبایل هویت تماس‌گیرنده را با سیگنال‌های هپتیک لرزشی مخصوص نشان می‌دهد.

**یادآوری۴**- وسایل لمسی را می‌توان درون لباس یا هر چیز پوشیدنی قرار داد. مهم است که مطمئن شویم ارتباط مکانیکی پایداری بین محرک و پوست طی هرگونه حرکت بدن وجود دارد. مهم است که این ارتباط باعث حواس پرتی یا تحریک متصدی در حین انجام وظایف دیگر خود نشود. اگر محرک از پوست جدا شود، آنگاه کاربر هیچ گونه بازخورد لمسی حس نخواهد کرد.

### ۹-۲-۳ درجه آزادی[1] (DOF)

عدد درجه آزادی مورد نیاز برای وظیفه باید در زمان انتخاب وسیله لامسه /هپتیک مد نظر قرار گیرد.

**یادآوری ۱**- عدد درجه آزادی مرتبط با ماهیت ابعادی اطلاعاتی است که باید ظاهر شده یا جستجو شوند.

**مثال ۱:** اطلاعات فرکانس لرزش در اهرم با یک درجه آزادی ارائه می‌شود.

**مثال ۲:** اطلاعات مسیر در نقشه یک بزرگراه با نشانه‌های هپتیک توسط یک وسیله با دو درجه آزادی جستجو می‌شود.

**مثال ۳:** داده‌های یک زمین لرزه در یک میدان نفتی با تغییر مقاومت نسبت به حرکت نمایش داده شده و توسط یک وسیله با سه درجه آزادی ارائه می‌شود.

**مثال ۴:** شبیه‌سازی ابزار دست برای نگهداری موتور هواپیما، به یک وسیله با شش درجه آزادی برای نمایش گشتاور و نیرو نیاز دارد.

**یادآوری۲**- عدد درجه آزادی با بازخورد هپتیک می‌تواند کوچک‌تر یا مساوی با عدد درجه آزادی نقطه تماس باشد.

**مثال ۵:** یک وسیله لامسه/هپتیک شش درجه آزادی دارای یک مرحله انتقالی سه درجه آزادی با بازخورد نیرو است که توسط یک مرحله چرخش با سه درجه آزادی حس شده اما بدون بازخورد گشتاور احاطه شده است.

**یادآوری۳** - یک وسیله با درجه آزادی کم با بازخورد هپتیک معمولا یک شبیه‌سازی از هدف نهاییرا ارائه می‌دهد، در حالی که وسیله با درجه آزادی زیاد معمولا سعی در ایجاد دوباره هدف به شکلی واقعی‌تر دارد.

**مثال ۶:** یک وسیله سه درجه آزادی نقطه‌ای از تماس را شبیه‌سازی می‌کند که یک ارائه هپتیکی قانع‌کننده از یک نقشه توپوگرافی است و یک منطقه از روی سطح زمین نشان می‌دهد.

---

1- Degrees of freedom (DOF)

**مثال ۷:** یک وسیله هفت درجه آزادی (۳ درجه آزادی انتقال، ۳ درجه آزادی چرخش، ۱ درجه آزادی گرفتن) عمل یک جفت انبر جراحی را شبیه‌سازی می‌کند که برای گرفتن و برداشتن یک پولیپ به آرامی طی یک عمل جراحی کولونوسکوپی معمول استفاده می‌شود.

**یادآوری۴**- وسیله لمسی را می‌توان در مکانی ثابت کرده یا روی یک وسیله لامسه/هپتیک با درجه آزادی یک یا بیشتر نصب کرد.

**مثال ۸:** یک صفحه نمایش بریل لمسی از آرایه‌ای از سوزن‌ها تشکیل‌شده و روی یک ریل نصب شده تا کاربر بتواند آرایه را به عقب و جلو ببرد تا فعالانه خطوط متن بریل را بررسی کند.

**یادآوری ۵**- اندازه، چگالی و تعداد محرک‌ها در یک صفحه نمایش لمسی را می‌توان با توزیع مشخص گیرنده هپتیک در پوست کنترل کرد. هر محرک ممکن است یک درجه آزادی مستقل را درنظر گرفته شود.

**مثال ۹:** یک آرایه لمسی از سوزن‌های متراکم است چون بیشتر برای نوک انگشتان طراحی شده است تا اینکه روی پوست قسمت فوقانی پشت بازو استفاده شود.

**مثال ۱۰:** یک آرایه لمسی که برای پشت بدن طراحی شده بزرگ‌تر از آرایه‌ای است که برای نوک انگشت طراحی شده، و تراکم کمتری از تحریک‌کننده‌ها دارد.

### ۹-۲-۴ حداکثر سفتی[1]

حداکثر سفتی مورد نیاز برای انجام وظیفه باید هنگام انتخاب یک وسیله لامسه/هپتیک درنظر گرفته شود.

**یادآوری ۱**- سفتی مربوط به احساس سختی یا کشیدگی هنگام بررسی یک سطح مجازی است. هم اشیاء مجازی سخت و هم اشیاء مجازی انعطاف‌پذیر می‌توانند سفتی را نشان دهند.

**یادآوری ۲**- سفتی ممکن است به صورت سه کیفیت مجزا در یک شبیه‌ساز هپتیک درک شود، موجدار بودن تماس اولیه، سختی سطح صلب و تمیزی نهایی سطح. بعضی از این حالات تحت کنترل نرم‌افزار هستند.

**یادآوری ۳**- حداکثر سفتی در یک صفحه نمایش هپتیک به علت تعدادی از عوامل طراحی وسیله است، از جمله : توان تفکیک فضایی، توان تفکیک زمانی، سفتی و اصطکاک مکانیکی. سفتی مکانیکی معمولا مرتبط با عدم‌وجود حرکت بدلی در مفاصل، صلبیت لینک‌های مکانیکی و عدم‌کشیدگی در کمربندها و تاندون‌ها است.

**مثال ۱:** یک وسیله دارای توان تفکیک فضایی ضعیف تنها سطوح مجازی نرم را نمایش می‌دهد.

**مثال ۲:** یک وسیله دارای توان تفکیک فضایی خوب می‌تواند سطح مجازی سخت را نمایش دهد. این سطح را می‌توان تحت کنترل نرم‌افزار تبدیل به سطح نرم کرد.

**یادآوری ۴**- یک تست راحت برای حداکثر سفتی، ارائه وسیله با یک دیوار مجازی با ثابت فنر قابل‌تنظیم و بدون نوسان است. حداکثر سفتی در واقع بالاترین ثابت فنر دیوار است که می‌توان با وسیله و بدون ایجاد لرزش آن را جستجو و بررسی کرد.

**یادآوری ۵**- گرفتن محکم‌تر دستگیره یک وسیله می‌تواند سفتی نمایش هپتیک را بهبود ببخشد. وسایل باید تا جای ممکن با استفاده از قدرت یکسان در دست گرفتن با هم مقایسه شوند.

**یادآوری ۶**- افزودن میراکننده فیزیکی به وسیله می‌تواند سفتی دیواره را افزایش دهد که می‌تواند بدون لرزش ظاهر شود. افزودن نوسانات مجازی ممکن است سفتی دیواره را وابسته به میزان دیجیتالی کردن افزایش دهد.

---

1- Maximum stiffness

**مثال ۳:** نوسانات فیزیکی قابل‌کنترل با توقف جریان مغناطیسی مایعات، با معکوس کردن جریان در یک موتور d.c یا با تغییر میدان مغناطیسی اعمال شده به یک دیسک آلومینیومی در حال چرخش ایجاد می‌شود.

**مثال ۴:** یک وسیله لامسه /هپتیک تنها با استفاده از ترمزهای متنوع ساخته می‌شود. بدون موتورها، وسیله نمی‌تواند انرژی را به کاربر بازگرداند. این امر اثرات هپتیکی که می‌تواند نمایش داده شود را محدود می‌سازد، اما پایداری را تضمین می‌کند.

### ۹-۲-۵ محدوده حرکت[1]

محدوده حرکتی متناسب با وظیفه باید هنگام انتخاب یک وسیله لامسه /هپتیک درنظر گرفته شود.

**یادآوری ۱**- محدوده حرکت با نام فضای کاری نیز شناخته می‌شود. محدوده حرکتی مناسب معمولا با محدوده حرکتی برنامه‌ریزی شده برای واسط وسیله-بدن تعیین می‌شود. این محدوده حرکتی به طور عمده توسط تکیه‌گاه حرکت بدن انسان تعیین می‌گردد.

**مثال ۱:** در موارد حرکت بازوی انسان، تکیه‌گاه میتواند شانه، آرنج، سمت کف دستی مچ یا قسمت کناری-خارجی دست (مانند در دست گرفتن خودکار برای نوشتن) باشد. این لیست فضای کاری را کاهش می‌دهد اما دقت را در گرفتن یک وسیله افزایش خواهد داد.

**یادآوری ۲**- محدوده حرکت معمولا شامل مولفه‌های انتقالی و چرخشی است. این مولفه‌ها می‌توانند تقسیم‌بندی شوند، مثل وسایل سری یا می‌توانند به هم وصل شوند، مثل وسایل موازی.

**یادآوری ۳**- تعریف محدوده حرکت می‌تواند بر اساس درجه آزادی وسیله متفاوت باشد.

- در یک وسیله یک درجه آزادی، محدوده ی حرکت می‌تواند حداکثر فاصله یا زاویه ی قابل دسترس باشد.
- در یک وسیله دو درجه آزادی، محدوده حرکت می‌تواند ابعاد حداکثر سطح یا زاویه ی جامد قایل دسترس باشد.
- در یک وسیله سه درجه آزادی، محدوده حرکت می‌تواند ابعاد حداکثر حجم قابل دسترس باشد.
- در وسایل با بیش از سه درجه آزادی، محدوده حرکت می‌تواند ابعاد حداکثر حجم قابل دسترس در انتقال همراه با توصیفی مناسب از محدودیت‌های چرخش دیگر درجات آزادی باشد.

**یادآوری ۴**- استفاده از اشکال هندسی ساده برای توصیف محدوده حرکت انتقالی آسان است.

**مثال ۲:** فضای کاری وسیله سه درجه آزادی را می‌توان با یک جعبه، کره یا بیضی توصیف کرد.

**یادآوری ۵**- با بعضی وسایل، چرخش دستگیره می‌تواند نسبت به محدودیت‌های فضای کاری محدود شود.

### ۹-۲-۶ نیرو و گشتاور[2]

#### ۹-۲-۶-۱ حداکثر نیرو و گشتاور

حداکثر نیرو و گشتاور مورد نیاز برای وظیفه باید هنگام انتخاب وسیله لامسه /هپتیک در نظر گرفته شود.

**یادآوری ۱**- برای ظرفیت‌های کاربر موردنظر می‌توان اجازه حاصل کرد. حداکثر نیرو را می‌توان فقط برای زمانی کوتاهی قبل از شروع خستگی عضله ادامه داد.

**یادآوری ۲**- نیرو در مجموع برای وسایل یک، دو و سه درجه آزادی استفاده می‌شود. نیرو و گشتاور هر دو با هم برای وسایل با بیش از سه درجه آزادی استفاده می‌شوند.

---

1- Motion range
2- Force and torque

**مثال ۱:** شبیه‌سازی گشتاور و فشار پیچ گوشتی هر دو به چندین درجه آزادی نیاز دارد.
**یادآوری ۳:** حداکثر نیروی گشتاور می‌تواند طی زمان گذرا به کوچکی 10 میلی‌ثانیه اتفاق بیفتد.
**مثال ۲:** ضربه‌زدن روی استخوان شبیه‌سازی شده نیاز به نیروی موقتی زیادی دارد.
**یادآوری ۴:** در بعضی اهداف باید حداکثر نیرو را برای مدتی مثلا 5 ثانیه درنظر داشت.
**مثال ۳** فشردن مهره برای جای‌گذاری کردن آن در ستون فقرات در یک شبیه‌سازی جراحی می‌تواند یک نیروی قوی و مداوم تولید کند.

### ۹-۲-۶-۲ حداکثر نیرو و گشتاور مداوم

حداکثر نیرو و گشتاور مداوم مورد نیاز برای انجام وظیفه باید در هنگام انتخاب وسیله لامسه /هپتیک مد نظر گرفته شود.

**یادآوری ۱-** اگر نیروهای پیوسته کسر کوچکی از حداکثر انقباض ارادی باشند، خستگی و ناراحتی کاهش خواهد یافت. در کسرهای بالاتر، نسبت کار به استراحت مهم تلقی می‌شود.
**یادآوری ۲-** در یک وسیله لامسه /هپتیک الکترومکانیکی، نیرو یا گشتاور مداوم موتور را در یک فضای سربسته قرار داده و تولید گرما می‌کند. در این شرایط پارامتر محدود کننده، درجه حرارت قابل تحمل موتور است.

### ۹-۲-۶-۳ حداقل نیرو و گشتاور قابل نمایش

حداقل نیرو و گشتاور قابل نمایش مورد نیاز برای انجام وظیفه باید در هنگام انتخاب وسیله لامسه /هپتیک مد نظر قرار گرفته شود.

**یادآوری ۱-** استفاده از نیروی کم برای بعضی وظایف ظریف مناسب است.
**مثال ۱:** شبیه‌سازی استفاده از ابزار برای سرهم بندی یک ساعت مچی نیازمند استفاده از نیروهای کوچک است. عناصر خاص اگر خیلی سخت گرفته شوند، آسیب می‌بینند.
**مثال ۲:** جراحان مغز و اعصاب با بافت های بسیار حساس کار می‌کنند ودر نتیجه نیروی اندکی به تجهیزات جراحی وارد می‌آورند.
**یادآوری ۲-** وسیله لامسه/هپتیک دارای اصطکاک کم برای نمایش نیروهای کم مناسب است.

### ۹-۲-۶-۴ توان تفکیک نیرو و گشتاور

توان تفکیک قابل نمایش نیرو و گشتاور مورد نیاز برای وظیفه باید در هنگام انتخاب وسیله لامسه /هپتیک مد نظر قرار گرفته شود.

**یادآوری ۱-** در بعضی وظایف بهتر است که سطوح نیرو و گشتاور از هم قابل افتراق باشند.
**مثال:** ممکن است تفاوت‌های اندکی در نیروهای دخیل در لمس بافت آناتومی باشد (یعنی معاینه بافت در محل جراحی برای تعیین شرایط آن).
**یادآوری ۲-** یک وسیله لامسه /هپتیک دارای اصطکاک کم برای تفکیک نیرو مناسب است.

### ۹-۲-۶-۵ محدوده نیرو و گشتاور دینامیک

محدوده دینامیک نیرو و گشتاور قابل نمایش مورد نیاز برای وظیفه باید در هنگام انتخاب وسیله لامسه /هپتیک مدنظر قرار گرفته شود.

**یادآوری**- محدوده دینامیک نسبت حداکثر نیرو به حداقل نیرو است.

**مثال:** شبیه‌سازی جراحی ارتوپدی هم نیازمند نیروی زیاد برای شبیه‌سازی لمس استخوان و هم نیازمند نیروی کم برای شبیه-سازی بافت مجاور استخوان است.

### ۹-۲-۷ مقاومت حرکت در فضای آزاد[1]

مقاومت فضای خالی متناسب با وظیفه باید در هنگام انتخاب وسیله لامسه /هپتیک مد نظر قرار گرفته شود.

**یادآوری ۱** مقاومت کم حرکت در فضای آزاد توانایی حرکت وسیله لامسه /هپتیک را با حداقل مقابله سرتاسر فضای کاری نشان می‌دهد. به صورت ایده‌آل، وسیله زمانی که هیچ تعاملی با شئ در فضای مجازی نداشته باشد، نیرویی به دست کاربر اعمال نمی‌کند.

**مثال ۱:** وسیله لامسه /هپتیک دارای صدای چرخ دنده ممکن است اثرات هپتیکی نشان دهد که نمایش ارادی هپتیک را بپوشاند.

**یادآوری ۲**- مقاومت حرکت در فضای آزاد می‌تواند هم از نیروهای ثابت و هم از نیروهای متغیر تشکیل شده باشد. نیروهای ثابت شامل نسبت دنده‌ها، اصطکاک و اینرسی است؛ نیروهای متغیر شامل صدای چرخ دنده، پس زدن (حرکت آزاد ناخواسته در چرخ دنده ها) و قابلیت ارتجاعی در انتقال است.

**مثال ۲:** یک موتور بدون برس معمولا گشتاور مواج را نشان می‌دهد، که یک تغییر در مقاومت است که به طور متناوب به محض اینکه محور خروجی موتور می‌چرخد، احساس می‌شود.

**یادآوری ۳**- می‌توان مقادیر مختلف مقاومت حرکت در فضای آزاد را برای هر درجه آزادی داشت.

**مثال ۳:** یک وسیله می‌تواند اینرسی بیشتری در انتقال دستگیره خود نسبت به چرخش آن داشته باشد.

### ۹-۲-۸ اینرسی[2]

اینرسی واسط بدن-وسیله در یک وسیله باید در هنگام انتخاب وسیله لامسه /هپتیک مد نظر قرار گرفته شود.

**یادآوری ۱**- اینرسی خود را در مقاومت حرکت در فضای آزاد، به شکل جرمی در واسط بدن-وسیله نشان می‌دهد.

**مثال**: هل دادن یک وسیله لامسه/هپتیک دارای اینرسی بالا دشوارتر است و متوقف‌سازی آن نیز مشکل‌تر است.

**یادآوری ۲**- براساس درجه آزادی و طرح وسیله، اینرسی می‌تواند انتقالی باشد و در واحدهای جرم بیان شود، یا اینرسی چرخشی باشد و در واحدهای جرم ضرب در مجذور فاصله بیان شود.

**یادآوری ۳**- بخشی از اینرسی می‌تواند با کنترل الگوریتم‌های کنترلی مثل بازخورد نیرو یا شتاب حذف شود، اما اینها می‌توانند با خودشان وابستگی‌های دیگری مثل تغییر با فرکانس را نیز ایجاد کنند.

### ۹-۲-۹ شتاب اوج[3]

شتاب اوج واسط بدن-وسیله در وسیله باید در هنگام انتخاب وسیله لامسه /هپتیک مد نظر قرار گرفته شود.

**یادآوری ۱**- شتاب اوج در واقع حداکثر نیروی ناشی از اینرسی است.

**یادآوری ۲**- شتاب اوج زیاد در تماس‌ها و ضربه‌هایی که باعث تغییرات سریع سرعت می‌شود، بسیار مشهود است.

---

1- Free-space motion resistance
2- Inertia
3- Peak acceleration

### ۹-۲-۱۰ اصطکاک

#### ۹-۲-۱۰-۱ اصطکاک ایستایی[1]

محدوده اصطکاک ایستایی وظیفه باید در هنگام انتخاب وسیله لامسه /هپتیک مد نظر قرار گیرد.

**یادآوری ۱**- اصطکاک ایستایی مقاومت در برابر حرکت واسط وسیله-دستگیره از موقعیت بی‌حرکت است.

**یادآوری ۲**- اصطکاک ایستایی باعث ایجاد رفتار چسبندگی- لغزشی در سرعت کم خواهد شد. این امر می‌تواند هنگام تلاش برای مدلسازی یک دیوار مجازی ناپایداری ایجاد کند.

#### ۹-۲-۱۰-۲ اصطکاک جنبشی[2]

محدوده اصطکاک جنبشی یک وظیفه باید در هنگام انتخاب وسیله لامسه /هپتیک مد نظر قرار گیرد.

**یادآوری ۱**- اصطکاک خود را به صورت مقاومت حرکت در فضای آزاد نشان می‌دهد. اصطکاک مانند یک مقاومت در واسط وسیله-بدن است که همواره با حرکت مخالفت می‌کند.

**یادآوری ۲**- اصطکاک جنبشی معمولا به اصطکاک کولمب[3] (اصطکاک مستقل از سرعت) و اصطکاک ویسکوز یا نوسانی[4] (اصطکاک متناسب با سرعت) تقسیم می‌شود.

**یادآوری ۳**- به صورت ایده‌آل یک وسیله لامسه/هپتیک حداقل اصطکاک جنبشی را دارد، تا کاربر بتواند در صورتی که برای ارائه دادن محیط مجازی مفید باشد، اصطکاک مجازی قابل کنترل با نرم افزار را به آن اضافه کند.

**مثال:** بعضی الگوریتم‌های کنترل نوسانات مجازی را اضافه می‌کنند تا احساس لمس یک سطح مجازی را ارتقاء دهند. دیگر الگوها با نوسانات فیزیکی قابل کنترل آزمایش شده‌اند تا انرژی را جذب کرده و دیواره مجازی را به صورت غیرفعال درآورند.

### ۹-۲-۱۱ پارامترهای زمانی[5]

#### ۹-۲-۱۱-۱ پهنای باند[6]

پهنای باند مناسب با وظیفه مورد نظر باید در هنگام انتخاب وسیله لامسه /هپتیک مد نظر قرار گیرد.

**یادآوری ۱**- پهنای باند به محدوده فرکانسی که وسیله لامسه /هپتیک در آن به کاربر بازخورد می‌دهد، اشاره دارد. معمولا ما به فرکانس بالاتر نیز پهنای باند می‌گوییم، اما فرکانس پایین‌تر نیز یکی از مشخصات پهنای باند است.

**یادآوری ۲**- ظرفیت حس هپتیک در انسان پهنای باند بسیار بیشتری نسبت به پهنای باند خروجی مشتق از عضله دارد.

**مثال ۱:** سیستم حس لامسه انسان معمولا سیگنال‌ها را از پوست در محدوده فرکانس 0 تا 1000 هرتز دریافت می‌کند (اگرچه فرکانس‌های بالاتری نیز گزارش شده‌اند).

**مثال ۲:** سیستم حسی حرکتی انسان سیگنال‌هایی از عضلات و مفاصل در فرکانس های 20 تا 30 هرتز دریافت می‌کند. انگشتان و دست‌ها می‌توانند با پهنای باند 5 تا 10 هرتز حرکت کنند.

---

1- Static friction
2- Kinetic friction
3- Coulomb friction
4- Viscous friction or damping
5- Temporal parameters
6- Bandwidth

**یادآوری ۳**- خستگی و دیگر اثرات فیزیولوژی می‌تواند پهنای باند سیستم حسی انسان را تحت تاثیر قرار دهد.

**مثال ۳** : سیگنال‌هایی که به سرعت در یک مکان روی پوست ظاهر می‌شوند، می‌توانند یکدیگر را بپوشانند.

**یادآوری ۴**- پهنای باند یک وسیله لامسه/هپتیک معمولا اشاره به کل حلقه بازخورد هپتیک دارد. این در واقع تعداد زمان‌هایی است که حلقه هپتیک می‌تواند در هر ثانیه انجام شود (که به عنوان نرخ به روز رسانی نیز شناخته می‌شود).

**مثال ۴:** در یک وسیله لامسه/هپتیک با مقاومت ظاهری، حلقه هپتیک به ترتیب شامل احساس موقعیت در وسیله، تکرار کردن شبیه‌سازی هپتیک، محاسبه نیرو و/یا گشتاور و ارسال مجدد دستورالعمل‌های نیرو/گشتاور به وسیله لامسه/هپتیک است.

**مثال ۵:** در یک وسیله لامسه/هپتیک با هدایت ظاهری، حلقه هپتیک به ترتیب شامل احساس نیرو در وسیله، تکرار کردن شبیه-سازی هپتیک، محاسبه وضعیت قرارگیری و ارسال دستورالعمل‌های آن به وسیله هپتیک است.

**یادآوری ۵**- پهنای باند تحت تاثیر عواملی مثل نرخ دیجیتال‌سازی پیغام‌های حسگر در وسیله لامسه/هپتیک، تاخیر در ارتباط میان وسیله لامسه/هپتیک و کامپیوتر کنترل‌کننده، و زمان صرف‌شده برای تکرار شبیه‌سازی هپتیک و محاسبه اطلاعات برای بازگشت به وسیله لامسه/هپتیک قرار می‌گیرد. همچنین محدوده‌ای برای توانایی وسیله در نمایش نیرو و گشتاور در بازه فرکانس مورد نیاز وجود دارد.

**مثال ۶:** فرض کنید یک وسیله لامسه/هپتیک بتواند یک نیرویی بین 0 تا 1000 هرتز تولید کند. اگر اندازه‌گیری موقعیت در 10 کیلوهرتز ایجاد شود، آنگاه پیغام‌های کنترل به میزان بیشتری از فرکانسی که وسیله قادر است در آن نیرو را تولید کند، تولید می-شوند. این امر می‌تواند ناپایداری که از تشدید بین شبیه‌سازی، وسیله و کاربر منشاء می‌گیرد را کاهش دهد.

**یادآوری ۶**- مقاومت مکانیکی بدن کاربر در واسط بدن- وسیله می‌تواند پهنای باند ادراک شده وسیله لامسه /هپتیک را تحت تاثیر قرار دهد.

**مثال ۷:** کاربر دستگیره یک وسیله لامسه /هپتیک را محکم با دست و بازو با انعطاف کم می‌گیرد بنابراین توانایی وسیله برای نمایش نیرو در یک بازه پهن فرکانس کاهش می‌یابد. حسگرهای پوست خودشان ممکن است با چنگ زدن بیش از حد اشغال شده و به لرزش‌های کوچک وسیله حساس نباشند.

### ۹-۲-۱۱-۲ تاخیر سیستم[1]

تاخیر سیستم ممکن است به عنوان بیان جایگزین پهنای باند یک سیستم هپتیک در نظر گرفته شود.

**یادآوری**- تاخیر سیستم مدت زمان کلی تاخیر عناصر حلقه هپتیک است. تاخیر سیستم، معکوس نرخ به روزرسانی است.

**مثال:** در یک کنترل‌کننده مقاومت ظاهری، تاخیر سیستم شامل زمان مورد نیاز برای محاسبه سینماتیک مستقیم و معکوس وسیله، هرگونه تاخیر در ارتباطات بین وسیله و کامپیوتر کنترل‌کننده، و زمان مورد نیاز برای محاسبه خروجی نیرو و گشتاور از شبیه‌ساز هپتیک به کاربر است.

### ۹-۲-۱۱-۳ تاخیر وسیله[2]

تاخیر وسیله ممکن است به عنوان مشارکت خاص وسیله در پهنای باند سیستم هپتیک در نظر گرفته شود.

---

1- System latency
2- Device latency

**یادآوری ۱-** تاخیر وسیله در واقع تاخیر زمانی بین ارسال یک دستور به وسیله لامسه/هپتیک و دریافت یک پاسخ از آن وسیله است. معمولا شامل حرکات سینماتیک مستقیم و معکوس است، که در واقع می‌توان آن را در کامپیوتر کنترل محاسبه کرد.

**یادآوری ۲-** تاخیر وسیله می‌تواند تحت تاثیر سرعت کامپیوتر کنترل، و هم چنین هرگونه تاخیر ذاتی در خود وسیله لامسه/هپتیک قرار بگیرد. سرعت کامپیوتر کنترل ممکن است شامل میزان محاسبه واحد پردازش مرکزی، زمان دسترسی به حافظه و زمان مورد نیاز برای دسترسی به هرگونه کارت ورودی/خروجی در گذرگاه کامپیوتر ثانویه است.

### ۹-۲-۱۲ عوامل محیطی[1]

#### ۹-۲-۱۲-۱ نوفه صوتی

نوفه صوتی وسیله باید در هنگام انتخاب وسیله لامسه /هپتیک مد نظر قرار گیرد.

**یادآوری ۱-** نوفه صوتی بالا از یک وسیله لامسه/هپتیک می‌تواند یک محیط کاری ناراحت ایجاد کند.

**یادآوری ۲-** نوفه صوتی می‌تواند از پنکه‌های سرما یا از لرزش‌های مکانیکی منشاء بگیرد که طی اجرای وظیفه بلند می‌شود.

**مثال:** اگر وظیفه نیازمند نمایش سطوح مجازی سخت باشد، آنگاه نوفه صوتی می‌تواند به عنوان یک وسیله لامسه/هپتیک همراه با توان تفکیک فضایی ضعیف در تلاش برای نمایش آن سطوح تولید شود.

#### ۹-۲-۱۲-۲ وزن

وزن وسیله که ممکن است طی وظیفه انتقال یابد باید زمان انتخاب یک وسیله لامسه/هپتیک مورد توجه قرار گیرد.

**یادآوری ۱-** وزن سنگین ممکن است برای پایداری وسیله الزامی باشد، اما ممکن است انتقال وسیله را دشوار سازد.

**مثال:** نمایش نیروهای اوج بالا در مسیر جانبی نیازمند پایه‌ای سنگین، و/یا قاعده ای پهن، و/یا انسداد وسیله به تکیه‌گاهی ثابت است.

**یادآوری ۲-** جعبه‌ها و کابل‌های الکترونیکی نیز ممکن است در تخمین وزن مد نظر قرار گیرند.

#### ۹-۲-۱۲-۳ اندازه

اندازه وسیله باید زمان انتخاب یک وسیله لامسه /هپتیک مورد توجه قرار گیرد.

**یادآوری ۱-** اندازه وسیله لامسه/ هپتیک ممکن است وضعیت آن در آزمایشگاه یا محل کار را تحت تاثیر قرار دهد.

**یادآوری ۲-** اندازه وسیله تا حدودی توسط فضای کاری وسیله لامسه/ هپتیک تعیین می‌شود.

**مثال:** فضای کاری بزرگتر اشاره به وسیله بزرگ‌تر دارد، چون یک پایه جامد و اتصال مکانیکی وسیع ممکن است نیاز باشد تا واسط وسیله-بدن بتواند در طول فضای کاری حرکت کند. اتصال مکانیکی می‌تواند حجم زیادی را طی وظیفه بگیرد.

**یادآوری ۳-** جعبه ها و کابل‌های الکترونیک نیز ممکن است در اندازه وسیله مدنظر قرار گیرند.

---

1- Environmental factors

### ۹-۲-۱۳ ایمنی[1]

#### ۹-۲-۱۳-۱ ایمنی مکانیکی

۹-۲-۱۳-۱-۱ ایمنی مکانیکی وسیله باید زمان انتخاب یک وسیله لامسه /هپتیک مورد توجه قرار گیرد.

۹-۲-۱۳-۱-۲ خطر تماس بخش‌های فعال‌کننده که قسمت‌های وسیله را به جلو پرتاب می‌کنند، با یک کاربر باید کاهش یابد و یا از آن اجتناب شود.

**مثال ۱:** یک کاربر که خارج از فضای کاری وسیله نشسته است تا از برخورد با دستگیره در امان باشد ممکن است هنوز در مسیر اتصالات باشد.

**مثال ۲:** اگر نیروی وسیله لامسه/هپتیک محدود شود، آنگاه نیروی تماس روی بدن کاربر نیز کاهش خواهد یافت.

۹-۲-۱۳-۱-۳ روش‌های خاموش کردن وسیله زمانی که در حال استفاده نیست باید مد نظر قرار گیرد.

**مثال ۱:** یک وسیله لامسه/هپتیک مجهز به حسگر تماس می‌شود تا تعیین کند کاربر چه زمانی دستگیره وسیله را گرفته است. زمانی که دست حضور نداشته باشد، وسیله به صورت خودکار متوقف یا غیرفعال می‌شود تا از حرکت آن تحت قدرت بدون کنترل جلوگیری شود.

**مثال ۲:** نرم‌افزار کنترل برای یک وسیله لامسه/هپتیک دارای حسگر "فرار" است که زمانی که حرکت کنترل‌نشده در یک یا چند درجه آزادی شناسایی شود، موتور را خاموش می‌کند.

۹-۲-۱۳-۱-۴ کاربر وسیله باید بتواند از وسیله جدا شود.

**مثال:** اگر یک وسیله لامسه/هپتیک پوست کاربر را بیش از حد تحریک کند، آنگاه پوست آسیب می‌بیند، در چنین مواردی کاربر باید بتواند به طور طبیعی از آسیب یا تحریک بیشتر جلوگیری کند.

#### ۹-۲-۱۳-۲ ایمنی الکتریکی

۹-۲-۱۳-۲-۱ ایمنی الکتریکی وسیله باید زمان انتخاب یک وسیله لامسه /هپتیک مورد توجه قرار گیرد.

۹-۲-۱۳-۲-۲ باید اطمینان حاصل شود که کاربر وسیله از ولتاژهای الکتریکی خطرناک در امان است.

۹-۲-۱۳-۲-۳ از کدهای (قوانین) الکتریکی شناخته شده در سطح ملی و بین‌المللی باید پیروی شود تا از ایمنی وسیله اطمینان حاصل کنیم.

**مثال**: منبع تغذیه وسیله که جریانی قوی از منبع الکتریکی فراهم می‌کند، ارتباط دهنده‌ای مورد تائید را به کار می‌گیرد که از طریق سوزن رابط به زمین الکتریکی ساختمان وصل می‌شود.

۹-۲-۱۳-۲-۴ اگر منبع قدرت الکتریکی خراب شود، وسیله باید در وضعیت ایمن قرار بگیرد.

**مثال**: یک اسکلت خارجی ممکن است روی شئ ایستاده تکیه داده شده و بازوهای کاربر را احاطه کند. وسیله باید آنقدر متعادل باشد که اگر منبع قدرت الکتریکی خراب شود، وزن افتاده وسیله کاربر را در معرض خطر قرار ندهد.

#### ۹-۲-۱۳-۳ ایمنی حرارتی

ایمنی حرارتی باید در هنگام انتخاب وسیله لامسه /هپتیک مد نظر قرار گیرد.

---

1- Safety

**یادآوری**- فعال‌کننده‌ها و وسایل الکترونیک کمکی ممکن است طی کار وسیله لامسه /هپتیک گرم شوند.

**مثال ۱:** اگر وسیله در مقابل یک دیوار مجازی نگه داشته شود، آنگاه موتور هیچ کاری انجام نمی‌دهد و قدرت وارده به موتور باعث گرم شدن آن می‌شود.

**مثال ۲:** باید مراقب بود که کاربر با سطوح گرم تماس نداشته باشد.

### ۹-۲-۱۴ نکات وضعیت قرارگیری بدن[1]

### ۹-۲-۱۴-۱ وضعیت حین کار کردن

وضعیت حین کار کردن مورد نیاز برای وسیله باید در هنگام انتخاب وسیله لامسه /هپتیک مدنظر قرار گیرد.

**یادآوری ۱**- بعضی وسایل ممکن است با این انتظار طراحی شوند که کاربر حین انجام کار سرپا بایستد، در حالی که دیگر وسایل ممکن است برای وضعیت نشسته یا خوابیده کاربر طراحی شده باشند.

**مثال ۱:** یک صندلی در حال لرزش برای کاربری طراحی می‌شود که در حین وظیفه با وسیله باید بنشیند.

**مثال ۲:** یک اسکلت خارجی برای فرد کاربری طراحی می‌شود که حین کار با وسیله باید در حالت ایستاده باشد.

**یادآوری ۲**- برخی موقعیت‌ها می‌توانند خسته‌کننده‌تر از بقیه باشند. برای وظیفه طولانی، مهم است که راحتی کاربر را مد نظر قرار دهیم. وسیله باید به کاربر مثلا امکان تغییر وضعیت طی وظیفه را بدهد.

### ۹-۲-۱۴-۲ تکیه‌گاه اندام

تکیه‌گاه اندام انسان برای کمک به کاربر حین وظیفه باید در هنگام انتخاب وسیله لامسه /هپتیک مدنظر قرار گیرد.

**یادآوری**- برای بعضی وظایف هپتیک، کاربر باید حین کار با وسیله، دست یا بازوی خود را بیش از حد باز کند. برای راحتی بیشتر کاربر، مهم است که محل استراحت آرنج یا پا در صورت نیاز مورد توجه قرار گیرد.

**مثال:** ممکن است انتظار داشته باشیم حین کار با وسیله سه درجه آزادی، کاربر دستان خود را از روی میز بلند کند تا برای دوره-ای آن را باز نگه دارد. اگر انتظار یک وضعیت در بالا نگه داشتن و نسبتا ثابت برای دست حین وظیفه است، ساعد باید تکیه‌گاه داشته باشد.

### ۹-۲-۱۵ تطابق[2]

### ۹-۲-۱۵-۱ اصلاحات[3]

اصلاحات وسیله مورد نیاز برای وظیفه باید در هنگام انتخاب وسیله لامسه /هپتیک مدنظر قرار گیرد.

**یادآوری**- بعضی اوقات کار تحقیقاتی نیازمند وسایل اصلاح شده است تا با یک شرایط جدیدی کنار بیاید که طی دوره تحقیق ایجاد می‌شود.

**مثال ۱:** به منظور آزمایش یک الگوریتم جدید، دستگیره‌ای جدید همراه با سلول بارگیری (حسگر نیرو) به بدنه وسیله افزوده می شود.

---

1- Postural considerations
2- Adaptability
3- Modification

**مثال ۲:** برای شبیه‌سازی احساس وسایل جراحی در دست جراح، دستگیره‌ای جدید به وسیله لامسه/هپتیک در محل دستگیره اصلی نصب می‌شود.

### ۹-۲-۱۵-۲ قابلیت کنترل[1]

کنترل مخصوص وسیله متناسب با وظیفه باید در هنگام انتخاب وسیله لامسه /هپتیک مدنظر قرار گیرد.

**یادآوری**- کارکرد یک وسیله لامسه/هپتیک را می‌توان با کمک استفاده از دکمه‌های روی دستگیره، یا با دستورات نرم‌افزار که ویژگی‌های انتخابی وسیله را تغییر می‌دهد، اصلاح کرد.

**مثال ۱:** دکمه‌ای فشرده می‌شود که امکان "نمایه‌گذاری" را می‌دهد، وسیله به محلی جدید در فضای کاری مجازی خودش حرکت داده می شود تا فضای کاری حقیقی وسیله لامسه/هپتیک در موقعیت راحت تری نسبت به فضای کاری مجازی قرار بگیرد.

**مثال ۲:** زمانی که کالیبراسیون مجدد حسگر ضروری باشد، انجام آن آسان است و ترجیح بر این است که یک اتفاق مکرر طی انجام وظیفه نباشد.

**مثال۳:** یک وضعیت ذخیره برای دستگیره وسیله وجود دارد که به عنوان موقعیت مرجع برای کالیبراسیون زاویه حسگر وسیله نیز عمل می‌کند.

### ۹-۲-۱۵-۳ نصب[2]

آسانی نصب باید در هنگام انتخاب وسیله لامسه /هپتیک مدنظر قرار گیرد.

**یادآوری ۱**- در اکثر موارد، یک وسیله لامسه/هپتیک در مکانی نصب شده و برای مدت طولانی آنجا می‌ماند.

**یادآوری ۲**- اگر نیاز به جابه‌جایی وسیله وجود دارد، آسانی تبادل کامپیوترهای کنترل با یکدیگر گزینه‌ای مهم در انتخاب وسیله است.

### ۹-۲-۱۵-۴ قابلیت اعتماد[3]

قابلیت اعتماد وسیله باید در هنگام انتخاب وسیله لامسه /هپتیک مدنظر قرار گیرد.

**یادآوری ۱**- ترجیح بر این است که وسیله های لامسه /هپتیک که برای ساعات بسیاری بین تعمیرها کار می‌کنند، در شرایط استفاده یک کارکرد بدون نقص داشته باشند.

**یادآوری ۲**- مهم است که وسایل ساخته شده قبل از تحویل به مشتری به خوبی آزمون شوند.

**یادآوری ۳**- مهم است که وسایل لامسه /هپتیک در زمان انتقال بر اساس دستورالعمل‌های سازنده در برابر آسیب مقاومت داشته باشند.

### ۹-۲-۱۵-۵ سرویس و نگهداری[4]

۹-۲-۱۵-۵-۱ سادگی سرویس و نگهداری از وسیله باید در هنگام انتخاب وسیله لامسه/هپتیک مدنظر قرار گیرد.

---

1- Controllability
2- Installation
3- Reliability
4- Maintenance

**یادآوری**- تعمیر برای یک وسیله لامسه /هپتیک باید مدنظر قرار گیرد.

۹-۲-۱۵-۵-۲ زمان مورد نیاز و دشواری نگهداری از وسیله را باید ارزیابی کرد.

۹-۲-۱۵-۵-۳ به صورت ایده‌آل، وظایف سرویس و نگهداری معمول باید به صورت محلی و منطقه‌ای انجام شود، در حالی که وظایف پیچیده‌تر باید توسط یک سرویس مناسب و با حداقل تاخیر صورت گیرند.

۹-۲-۱۵-۵-۴ هنگام خرید یک وسیله، باید از جزئیات گارانتی سازنده اطلاعات کامل بدست آید، اینکه گارانتی شامل چه چیزهایی میشود و چه مدت ادامه دارد.

### ۹-۲-۱۶ درستی[1]

درستی وسیله در انجام وظایف باید در هنگام انتخاب وسیله لامسه /هپتیک مد نظر قرار گیرد.

**یادآوری ۱**- درستی در واقع توانایی وسیله در شبیه‌سازی فعل و انفعلات دنیای واقعی است. این امر بعضی مواقع "شفافیت" سیستم هپتیک نام دارد، توانایی سیستم در متقاعدسازی کاربر در این مورد که او مستقیما با صحنه هپتیک تعامل دارد.

**مثال:** وسایل لامسه/هپتیک ممکن است بخشی از شبیه‌سازی راه رفتن در حقیقت مجازی باشد که کاربر را در زمینه دنیایی دیگر، یک محیط مجازی، مثلا محل جراحی میکروسکوپی، معدن ذغال سنگ یا در یک محفظه در فضای خارجی غرق کند. اثر "بودن در آنجا" روی فرد با ادغام حس لامسه او و دیگر روش‌های حسی برجسته‌تر خواهد شد.

**یادآوری ۲**- یک وسیله با درستی بالا توان تفکیک حسگر خوب، پاسخ فعال‌کننده‌ای سریع و کم نوفه، تاخیر کامپیوتری اندک و انتقال شفاف نیرو، گشتاور و/یا احساس لامسه را به کاربر دارد.

1- Fidelity

# پیوست الف

# (اطلاعاتی)

# وسایل حس لامسه

## الف-۱ کلیات

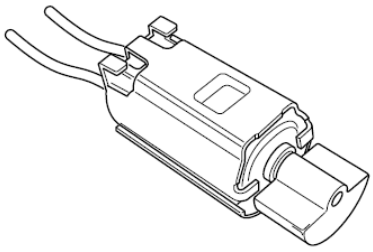
این پیوست بیان‌کننده برخی از وسایل حس لامسه معمول در زمان چاپ این استاندارد می‌باشد.
وسایل نقطه محور (همانند موتور پیجر[1]) در یک نقطه ارتعاش می‌کنند. وسایل آرایه محور (همانند نمایشگرهای تجدیدپذیر بریل) دارای یک آرایه از نقاط تحریک است که می توانند در مقابل پوست فشرده شوند. نمایشگرهای نقطه محور همچنین می توانند در یک آرایه در سطح بزرگتری از بدن قرار گیرند.

## الف-۲ تلفن/ پیجر ارتعاشی

تلفن ها و یا پیجرهای ارتعاشی از یک عملگر به طور معمول چرخشی اما در برخی مواقع با جابجایی خطی تشکیل شده اند که در آنها یک جرم در یک سرعت بالا حرکت می کند.( به شکل الف -۱ مراجعه شود). تغییر جهت حرکت جرم یک نیروی نوسانی را در محیط عملگر دربر خواهد داشت. در یک طرح جایگزین، یک جرم در سرعت بالایی حرکت نموده و به ناگهان متوقف می شود. این موضوع باعث ایجاد یک تلنگر محکم حسی[2] می شود. در این راستا به عنوان مثال در یک تلفن همراه زمانیکه در جیب حمل می شود حرکات نوسانی جرم به پوست جفت و انتقال می یابد.
این حرکت نوسانی منتج از جابجایی جرم به خودی خود تولید کننده یک حس هپتیک می باشد. شدت حس می تواند با توجه به تغییر سرعت نوسان تغییر نماید زیرا پارامترهای جفت شدگی مکانیکی و حس واقعی ارتعاشات نوسان وابسته به فرکانس هستند.
درک این حس می تواند به وضوح با یک انتخاب دقیق و مناسب الگوی پشت سر هم نوسان ها شکل گیرد.

1- Pager motor

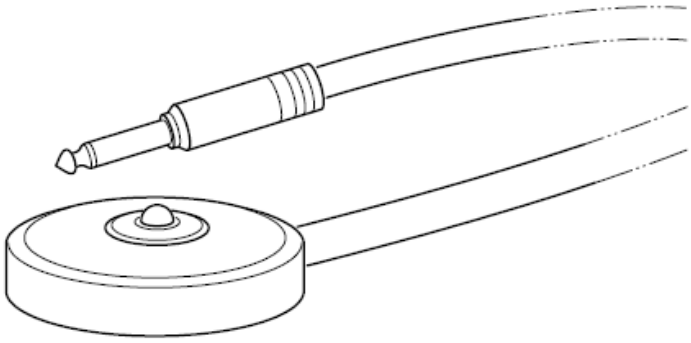
۲



**شکل الف-۱- موتور ارتعاشی با جرم خارج از محور**

### الف-۳ عملگر خطی حس لامسه

روش دیگر تولید ارتعاش نقطه محور بر روی بدن استفاده از عملگرهای خطی می باشد. نقطه تماس نشان داده شده در شکل الف -۲ خود جرم متحرک می باشد که بر روی چارچوب محفظه قرار گرفته است و قبل از مجاورت با پوست تحت فشار قرار گرفته است. این وسیله یک بازخورد محلی را تنها در نقطه تماس ( یک نقطه در سطح میانی) ایجاد نموده و فقط نقطه میانی مرتعش شده و سایر اجزا محیطی وسیله مرتعش نمی شوند. (مانند آن چه که در یک تلفن همراه معمول شامل موتور پیجر رخ می دهد.) به طور معمول چنین وسایلی در فرکانس حدود ۲۵۰ هرتز نوسان می کنند اما در برخی طراحی آنها بر اساس امکان نوسان در یک گستره از فرکانس ها انجام شده است، بر خلاف بسیاری از عملگرهای تلفن های همراه اولیه که دارای پاسخ فرکانسی محدودی بودند.



**شکل الف-۲- عملگر خطی لامسه**

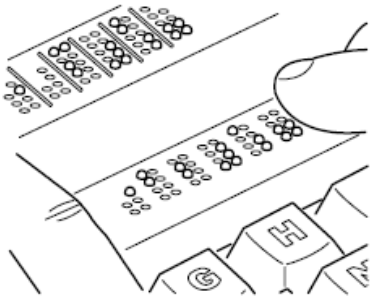
### الف-۴ کنترل های دستی ارتعاشی

کنترل های دستی ارتعاشی به طور گسترده ای در حوزه پایانه بازی ها بکار می روند. این وسایل دارای یک یا چند عملگر مانند پیجرهای ارتعاشی می باشند اما در مقایسه با آنها جرم مرتعش این وسایل بزرگتر بوده و

بنابراین دارای قدرت مکانیکی بیشتری می باشند. کنترل عملگر وابسته به فعل اتفاق افتاده در بتزی ویدیویی[۱] می باشد. در زمانیکه چندین عملگر در یک دسته بازی جایگذاری شده اند، حتی اطلاعات مربوط به جهت ها می تواند بر اساس کدبندی الگوهای پشت سرهم نوسان ها از یکدیگر متمایز شوند.

### الف-۵ نمایشگرهای نقطه محور

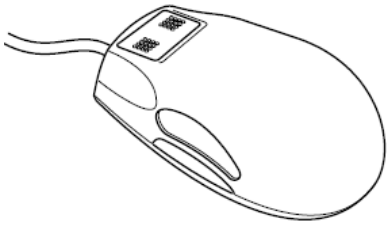
نمایشگرهای نقطه محور از کاربرد اولیه حروف الفبای بریل شکل گرفتند. عناصر حس لامسه (پین ها) بکار رفته در این نوع نمایشگرها به طور عمود نسبت به سطح پوست قرار می گیرند. به طور معمول هر نقطه یک عملگر متصل است که هر کدام به یک خاصیت فیزیکی پاسخ می دهند به عنوان مثال خواص حرارتی، الکترومغناطیسی، الکترودینامیکی، الکترواستاتیکی، پیزوالکتریک، فراصوت، پنیوماتیک ، هیدرولیک و عملگرها قادر به تغییر ارتفاع خود بر اساس سیگنال کنترلی می باشند. تغییرات معمولا به طور گسترده و دارای دو طبقه دیجیتالی (برجسته و تورفته ) هستند، اما همچنین می توانند نسبت به کدبندی سطوح اضافه ای از اطلاعات به طور پیوسته عمل کنند. به طور معمول نمایشگرهای نقطه محور از تعداد زیادی عملگر جانمایی شده در نزدیک یکدیگر بر روی یک سطح بزرگ برای تعاملات هپتیکی بر اساس تعداد زیادی نقطه( پین ) ساخته می شوند.( به شکل الف-۳ مراجعه شود)



**شکل الف-۳- نمایشگرهای بریل به عنوان قسمتی از صفحه کلید کامپیوتر**

دو طراحی برای وسایل حس لامسه در قبال حرکت و اطلاعات نمای به کاربر وجود دارد در طراحی اول وسیله اطلاعات را وابسته به زمان نمایش می دهد و حرکت نسبی نوک انگشت نسبت به وسیله پایش کننده اطلاعات می باشد.در طراحی دیگر، نوک انگشت بر روی جزو حس کننده درنگ نموده که این جز قسمتی از یک وسیله متحرک برای پایش اطلاعات پراکنده بر اساس حرکت وسیله می باشد. یک مثتال از طراحی نوع دوم نمایشگر حس لامسه در نظر گرفته شده در یک گوشواره می باشد.( به شکل الف-۴ مراجعه شود)

آرایه های جانمایی شده در گوشواره دارای تفکیک پذیری بالاتری نسبت به آنچه در نمایشگر بریل بوده و می تواند برای نمایش شکل دیگر اطلاعات از قبیل آیکون ها، نمودارها و نقشه ها بکار برد.



**شکل الف-۴- موشواره لامسه**

### الف-۶ نمایشگرهای نیروی برشی

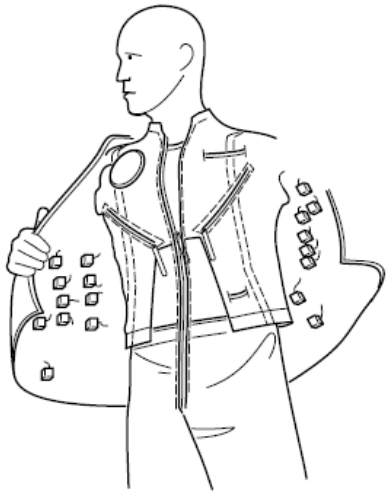
نمایشگرهای برشی وسایلی هستند که نیروی برشی بر روی سطح پوست را تولید می کنند. کاربرد برشی بر مبنای تحریک آشکارسازی افزایش نقاط برجسته نقطه محور اگر حرکت جانبی بین خود نقطه (پین ) و صحت پوست مجاز باشد شکل می گیرد.

حس برشی پوست یک پارامتر اصلی در زندگی روزانه درگرفتن وصل این اشیا می باشد.

ترکیب تغییر شکل برشی و عمودی افزایش حساسیت را به دنبال خواهد داشت. چندین تکنیک نمایشگرهای برشی شامل استوانه چرخان بر سطح یک صفحه مدور مرتعش پیزوالکتریک و سطح امواج حس برشی همچنین می تواند برای تولید حواس شبیه آنچه در زمتن کشف نقاط برجسته نقطه محور نمایشگرها تجربه می شود مورد استفاده قرار می گیرد.

### الف-۷ کمربند ارتعاش

زمانی که قسمت های بدن آدرس دهی می شوند از دو نقطه گسترده مجزا برای نقاط تماس می توان از عملگرهای گسسته بجای یک بانک از عملگرها برای دریافت اطلاعات حس لامسه پخش شده مکانی بهره جست. اغلب از عملگرهای ارتعاشی بدین منظور استفتده می شود. مطالعات و تحقیقات با اضافه کردن عملگرهای ارتعاشی بر روی کمربند ها امکان به نمایش گذاشتن اطلاعات سطحی یا مکانی سطح بدن را فراهم آورند. ( به شکل الف-۵ مراجعه شود) نتیجه کاربرد گستره فرآیندهایی از قبیل ردیابی و جهت دهی را برای آموزش حرکات پیچیده در برداشت. به هر حال باید دقت داشت که تعداد حوادث ارتعاشی که یک کلید می تواند به طور موازی پردازش کند محدود می باشد.



**شکل الف-۵- جلیقه لامسه با کاربرد نظامی**

### الف-۸ وسایل حرارتی

وسایلی هستند که بر اساس آدرس دهی احساس حرارتی بوجود آمده اند. آنها اغلب متشکل از آرایه هایی از الکترودهای حرارتی بوده که نمایش اطلاعات مکانی یک توزیع و گستردگی حرارتی را فراهم می کنند. مشکلات وابسته به این تکنولوژی مربوط به عدم درک کامل از احساس اثر حرارتی و پیچیدگی در مدلسازی واکنش حرارتی پوست انسان می باشد.

### الف-۹ وسایل الکتریکی

دیگر امکان تحریک گیرنده های واقع در پوست به پایه کاربرد یک تحریک الکتریکی جریان متناوب AC مشخص می باشد. وسایل این نوع تحریک کلیه گیرنده ها را در پوست به طور موازی تحریک نموده و حس لامسه تولید می شود. یک امتیاز این رویکرد امکان تفکیک پذیری بالا بر اساس همین مفهوم ساده می باشد. به هر حال می توان در نظر گرفت که تحریک الکتریکی به طور وسیعی وابسته به پارامترهای متغیر زمانی در جفت شدگی الکتریکی با پوست شامل نرخ تبدیل انتقال شارژ الکتریکی به شارژ یونی می باشد. علاوه بر این تحریک الکتریکی همیشه فیبرهای عصبی در حالت باز گیرنده درد را تحریک می کند.

# پیوست ب

# (اطلاعاتی)

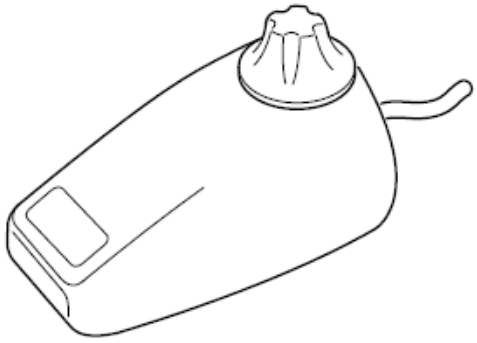
# وسایل حس لامسه / هپتیک با بازخورد نیرو

## ب-۱ کلیات

این پیوست بیان کننده برخی از وسایل حس لامسه/ هپتیک با بازخورد نیرو به طور گسترده در زمان چاپ این استاندارد می باشد.

## ب-۲ وسایل هپتیک گردونه محور

وسایل هپتیک گردونه محور (به شکل ب-۱ مراجعه شود) نمونه انتخاب وسایل تعاملی با یک درجه آزادی هستند آنها شامل یک عملگر در شکل گردونه یا چرخ که با دست گردانده می شودبه طور مستقیم یا از طریق یک چرخ دنده کوچک انتقال قدرت میزان گشتاور در برابر ویژگی زاویه بسته به وظیفه اجرایی قابل برنامه ریزی است. به طور معمول این وسایل بر پایه یک تا چند منحنی ویژگی های خاص برنامه ریزی می شوند. این منحنی ها منتخب از طریق یک پروتوکول به یک اتصال bus ارسال می شوند. وسایل خود وقایع را به سیستم میزبان بر اساس یک عملکرد خاص انتخابی ارسال می کنند. این وسایل به طور معمول در اتومبیل ها در ترکیب ساختاری کنترل ها برای رادیو، سیستم های تهویه مطبوع و عملگرهای رسانه ای در یک وسیله کاربردی استفاده می شوند.

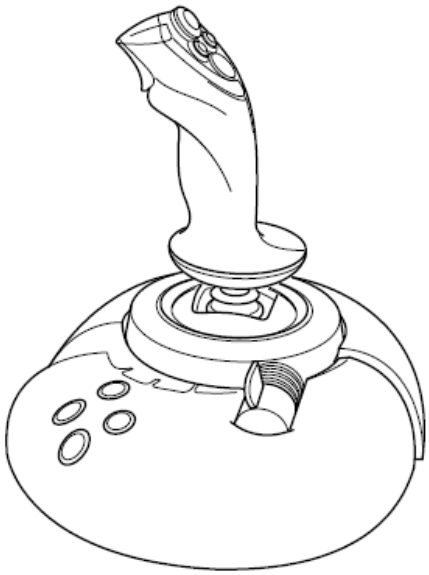


**شکل ب-۱- وسایل هپتیک گردونه محور**

### ب-۳ دسته با قابلیت بازخورد نیرو

دسته عملکرد با قابلیت بازخورد نیرو ( به شکل ب-۲ مراجعه شود) از وسایل کمک کنترلی به خصوص در فرمان های صنعتی هستند. آنها متشکل از چندین عملگر برای تغییر سختی و میرایی حرکات در حداقل دو جهت کنترلی هستند.

به علاوه این عملگرها می توانند تولید کننده یک نیروی خروجی به کاربر باشند. موقعیت در این جهت های کنترلی اندازه گیری به سیستم میزبان داده می شود که معمولا این سیستم یک رایانه شخصی می باشد. معمولا برنامه های کاربری که وقایع هپتیکی را تولید می کنند در یک یا چند درجه آزادی حسی-حرکتی شبیه سازی ضربه اسلحه ها از جنبه مجازی یا یک تصادم با اشیا در سناریو های بازی را شبیه سازی می کنند.

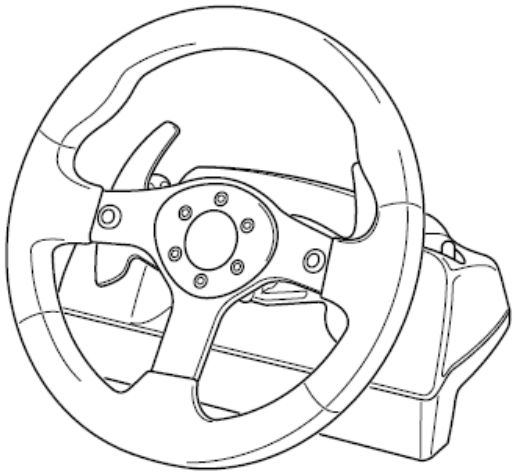


**شکل ب-۲- دسته عملکرد با قابلیت بازخورد نیرو**

### ب-۴ دسته فرمان با قابلیت بازخورد نیرو

فرمان ها و پدال که قابلیت ارایه بازخورد نیرو را دارند یک فرمان اتومبیل و پدال های ترمز و گاز آن را شبیه سازی می کنند( به شکل ب-۳ مراجعه شود).

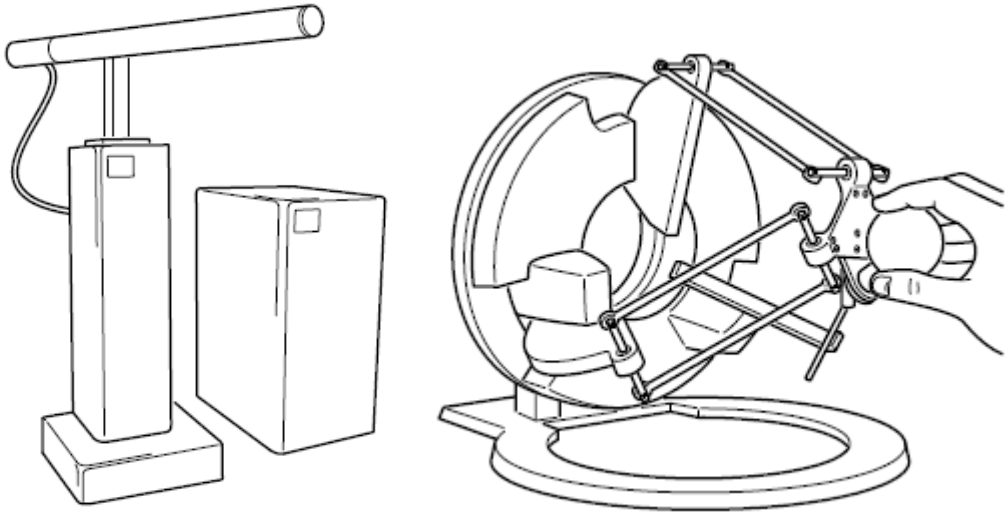
این محصولات به وسیله ضایع بازی سازی و تعامل با رایانه های شخصی به عنوان سیستم های میزبان ارتقا یافته اند. آنها متشکل از چندین عملگر است که تولید کننده نیرو گشتاور خروجی به عنوان کنترل ها و ارایه دهنده اطلاعات در خصوص زاویه چرخش و شدت حرکت پدال ها می باشند.



**شکل ب-۳- دسته فرمان با قابلیت بازخورد نیرو**

## ب-۵ دستگاه‌های هپتیکی مبتنی بر نقطه

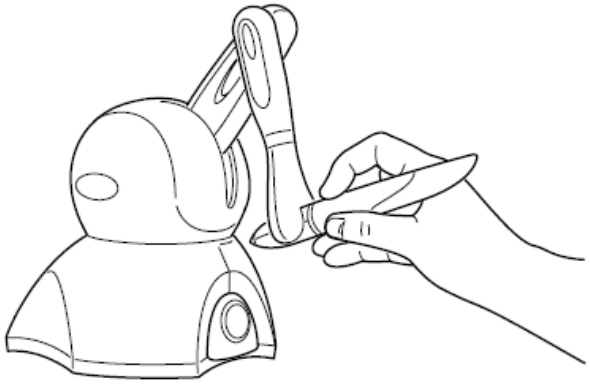
کلاس دستگاه‌های هپتیکی مبتنی بر نقطه ترکیبی از سه درجه آزادی DOF در یک نقطه آرمانی است این نقطه که معمولا به صورت فیزیکی بیان می شود توسط یک دستگیره می‌تواند برای انطباق با کاربردهای دیگر تغییر داده شود (به شکل ب-۴ مراجعه شود). بخاطر خواسته های معمولی از جمله سختی بالا سیستم فنی و یک فضای کاری محدود برای کاربران، دستگاه ها اغلب به صورت مکانیزم های موازی طراحی شده است. تعدادی از محرک ها همانند یا بیشتر از تعداد درجه آزادی است، با بازخورد حسی-حرکتی به وسیله زنجیره حسی-حرکتی کنترل می شود. این دستگاه هپتیکی مبتنی بر نقطه معمولا با رایانه های شخصی در تعامل اند. آنها اطلاعات در مورد نیروی تولید شده را دریافت کرده و موقعیت اطلاعات را به کامپیوتر میزبان ارائه می دهد.



**شکل ب-۴- دستگاه‌های هپتیکی مبتنی بر نقطه**

## ب-۶ دستگاه‌های هپتیکی مبتنی بر قلم

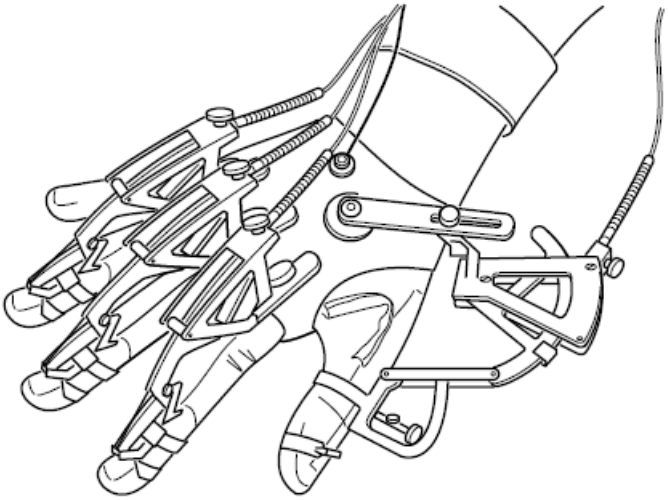
دستگاه‌های هپتیکی مبتنی بر قلم یک نقطه در فضای ۳ بعدی به وسیله یک قلم متصل را کنترل می کند. جهت این قلم علاوه بر اندازه گیری اطلاعات موقعیت نقطه و - بسته به سیستم - تا حدی یا به طور کامل با بازخورد حسی-حرکتی مجهز شده است(به شکل ب-۵ مراجعه شود). دستگاه های لمسی مبتنی بر قلم به طور گسترده در برنامه های کاربردی سه بعدی برای صنایع طراحی، فیلم و مدل سازی استفاده می شود. آنها اجازه کنترل یک قلم مجازی که نشان دهنده ابزار واقعی برای مجسمه سازی، نقاشی و یا نوشتن را می دهند.



**شکل ب-۵- دستگاه‌های هپتیکی مبتنی بر قلم**

### ب-۷ دستگاههای هپتیکی مبتنی بر دست

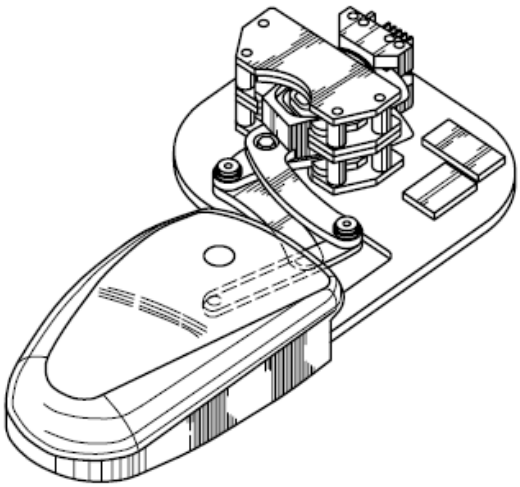
دستگاه های هپتیکی مبتنی بر دست دستگاه های مکانیکی پیچیده با بازخورد حسی-حرکتی به یک یا چند انگشت است(به شکل ب-۶ مراجعه شود). آنها در عملکرد و پیچیدگی در رابطه با درجه آزادی در دسترس برای هر انگشت و تعداد مطلق از انگشتان دست با بازخورد حسی-حرکتی متفاوت است. با توجه به وزن خود ناشی از راه اندازی مکانیکی، گاهی با دستگاه های اضافی مبتنی بر دستگاههای هپتیکی مبتنی بر نقطه، که بار مکانیکی بر روی کاربر را جبران می کند، ترکیب شده است.



**شکل ب-۶- دستگاه‌های هپتیکی مبتنی بردست**

## ب-۸ موشواره که فیدبک نیرو را فراهم می کند

یک موشواره که فیدبک نیرو را فراهم می کند وسیله ای است که بازخورد حسی-حرکتی را به حرکت دو بعدی یک موشواره کامپیوتر بر روی یک سطح اضافه می کند (به شکل ب-۷ مراجعه شود). محرک‌ها، شامل حرکت مانع معمولی در طول تعامل شده اند. برنامه های کاربردی ممکن برای این تابع شامل تاثیر یک مکان نما بر روی دکمه ها و یا مناطق دیگر از قابلیت های خاص در درون یک برنامه کامپیوتری است. با این حال، انواع این نوع از موشواره با خواص حسی-حرکتی فعال از جمله یک عنصر ارتعاشی و یا یک ماتریس پین لمسی وجود داشته باشد.



**شکل ب-۷- موشواره‌ای با بازخورد نیرو**

## کتاب‌نامه

[1] ISO 1503, Spatial orientation and direction of movement — Ergonomic requirements
[2] ISO 9241-5, Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) — Part 5: Workstation layout and postural requirements
[3] ISO 9241-12, Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) — Part 12: Presentation of information
[4] ISO 9241-14, Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) — Part 14: Menu dialogues
[5] ISO 9241-15, Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) — Part 15: Command dialogues
[6] ISO 9241-16, Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) — Part 16: Direct manipulation dialogues
[7] ISO 9241-17, Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) — Part 17: Form filling dialogues
[8] ISO 9241-110, Ergonomics of human-system interaction — Part 110: Dialogue principles
[9] ISO 9241-210, Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems
[10] ISO 9241-400, Ergonomics of human-system interaction — Part 400: Principles and requirements for physical input devices
[11] ISO 9241-410, Ergonomics of human-system interaction — Part 410: Design criteria for physical input devices
[12] ISO 9241-920:2009, Ergonomics of human-system interaction — Part 920: Guidance on tactile and haptic interactions
[13] ISO 11064-4, Ergonomic design of control centres — Part 4: Layout and dimensions of workstations
[14] EN 894-4, Safety of machinery — Ergonomic requirements for the design of displays and control actuators — Part 4: Location and arrangement of displays and control actuators
[15] AKAMATSU, M., MACKENZIE, I.S. and HASBROUQ, T. A comparison of tactile, auditory, and visual feedback in a pointing task using a mouse-type device. Ergonomics, 38, pp. 816-827
[16] AMIRABDOLLAHIAN, F., TOPPING, T., DRIESSEN, B. and HARWIN, W. (2003). Upper Limb Robot Mediated Stroke Therapy — GENTLE/s Approach. Autonomous Robots, 15(1), pp. 35-51
[17] BACH-Y-RITA, P. (1972). Brain Mechanisms in Sensory Substitution. New York: Academic Press.
[18] BACH-Y-RITA, P., KACZMAREK, K.A. and TYLER, M.E. (2003). A tongue-based tactile display for portrayal of environmental characteristics. In J. Hettinger and M. W. Haas (eds.), Virtual and adaptive environments: Applications, implications, and human performance.

[19] BAILLIE, S., CROSSAN, A., BREWSTER, S.A., MELLOR, D. and REID, S. (2005). Validation of a Bovine Rectal Palpation Simulator for Training Veterinary Students. Studies in Health Technology and Informatics, pp. 33-36, IOS Press