

# بهره گیری و توسعه تکنولوژی حقیقت مجازی و نرم افزارهای شبیه ساز در افزایش کمی و کیفی آموزش مهندسی

حمید شاه محمدی<sup>۱</sup>، محسن حبیبی\*<sup>۲</sup> و بهروز آرزو<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - ساخت و تولید - دانشگاه صنعتی امیرکبیر

<sup>۲</sup> دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## چکیده

دنیای امروز علم و تکنولوژی به سمت به کارگیری هرچه بیشتر کامپیوتر در فن آوری های گوناگون سوق پیدا کرده است. حقیقت مجازی به عنوان یکی از کاربردهای کامپیوتر در دهه اخیر کاربردهای فراوانی در زمینه های گوناگون مهندسی به خصوص مهندسی مکانیک پیدا کرده است. نرم افزارهای شبیه ساز نیز به نوبه خود سبب افزایش دقت و سرعت تحلیل های مهندسی گردیده اند. در تحقیق حاضر قصد بر استفاده و توسعه این دو مفهوم به هم آمیخته در فرآیند ماشین کاری توسط ماشین کنترل عددی (CNC) بوده است، به گونه ای که از این دو فن آوری در جهت یادگیری هرچه بیشتر، پرشورتر و تأثیر گذارتر دانشجویان در فرآیند ماشینکاری استفاده گردد. استفاده از این دو تکنولوژی در آموزش فرآیندهای مهندسی به خصوص در شاخه ساخت و تولید سبب افزایش کمی و کیفی آموزش مهندسی می گردد.

واژه های کلیدی: حقیقت مجازی، STL، Boolean operation

## مقدمه

عملی کرد. وجود وسایل کمک آموزشی و گویایی آن ها در مقابل توانایی های نامحدود این سیستم ناچیز می باشد. شبیه سازهای پرواز برای هواپیماهای مسافربری نیز از نمونه های بسیار پر هزینه از این روش است اما با تجهیزات و پیشرفت های کنونی استفاده از این روش در زمینه های آموزشی کاربرد فراوان دارد. همچون دیگر روش هایی که پا به میدان گذاشتند این روش نیز در ابتدا در مراکزی خاص و در کاربردهایی خاص مورد حمایت قرار گرفته است ولی به سرعت در حال فراگیر شدن است. به طور مثال سازمان فضایی ناسا برای آموزش تعمیرات موتور فضاپیما به فضا نوردان از این روش استفاده می کند. تعریف دقیق از واقعیت مجازی کار دشواری است زیرا که با پیشرفت های روز افزون در این زمینه هر روز تعبیر جدیدتری می توان از آن انتظار داشت به طور مثال نرم افزارهای طراحی که یک مدل سه بعدی از قطعه را پیش روی ما قرار می دهند بسیار واقعی تر از نقشه های مهندسی است اما امروزه نمی توان یک تصویر دیجیتال را بر روی صفحه مانیتور به عنوان واقعیتی از قطعه در حال طراحی نامید جز این که آن تصویری دو بعدی از یک مدل سه بعدی دیجیتالی است. هر چه واقعی تر کردن فضاهای مجازی و مدل های دیجیتالی به منظور درک

در طی سالیان مهندسان سعی بر آن داشتند تا بخش قابل توجه از فعالیت های خود را به صورت غیر واقعی یا مجازی انجام دهند تا از مشکلات و هزینه های اقتصادی و زمان طولانی برای اجرای نمونه های واقعی پرهیز کنند. این فعالیت ها در ایجاد نرم افزارهای طراحی و ساخت و نرم افزارهای تحلیلی (CAD/CAM/CAE) خود را آشکار می کند. اما چیزی که امروزه مورد توجه بیشتری پیدا کرده است، هر چه واقعی تر کردن این فضاهای مجازی می باشد تا بتوان هم از مزیت انجام فعالیتها به صورت مجازی سود برد و هم تا حد امکان به حالت واقعی آن نزدیک بود. ایجاد حقیقت مجازی<sup>۱</sup> یا به طور اختصار VR امروزه در زمینه های مختلف کاربردهای فراوانی

پیدا کرده است از جمله در زمینه های مهندسی، پزشکی، معماری، آموزشی و تفریحی. کاربردهای این روش در زمینه های آموزشی بسیار متفاوت تر از کاربردهای دیگر است زیرا که در اکثر موارد سعی می شود تا محیط مجازی را به آن چه در واقعیت است تبدیل کرد اما در سیستم های آموزشی در مواردی که امکان اجرای آن وجود ندارد یا پر هزینه می باشد را می توان با هزینه هایی بسیار کمتر و با کیفیت های قابل قبولی در محیط مجازی

\* نویسنده مسئول : تلفن : ۰۹۱۲۷۱۱۴۷۰۶ ، Email: [h.habibi@aut.ac.ir](mailto:h.habibi@aut.ac.ir)

مدل کردن حرکات دست و انگشتان کاربر است تا بتواند یک جسم مجازی را در دست بگیرد و حرکت دهد خواه تجهیزات Force feedback وجود داشته باشد یا نه. در این حالت تقابل بین کاربر و محیط مجازی تقریباً کامل شده است و اکنون به عنوان مثال می توان کاربری را تصور کرد که در یک کارخانه مجازی در حال کار با یک دستگاه تراش است و یا در حال منتاژ کردن یک مجموعه پیچیده از یک سیستم مکانیکی است.

یکی از سیستم هایی که به خاطر حجم کم و کارایی بالا در سیستم های آموزشی مورد توجه بیشتری قرار گرفته است برای ایجاد تصاویر سه بعدی از عینک مخصوصی استفاده می کند که تصاویر ایجاد شده برای چشم چپ و راست را به صورت جداگانه ایجاد می کند. این کار باعث می شود تا آن چه به رویت کاربر می رسد فراتر از یک تصویر نقش بسته بر یک مانیتور باشد و عمل موقعیت یابی برای شناسایی محل کاربر در فضای مجازی توسط سیستمی با نام Tracking system انجام می شود که در نزدیکی عینک مخصوص نسب می شود و با آن و به همراه بلندگوهای تولید صدا یک مجموع کامل را ایجاد می کند.

Tracking System یکی دیگر از قسمت های مهم در این گونه سیستم ها است که مختصات و دوران نقاط مورد نظر را در فضا مشخص می کند و در هر لحظه می تواند با دقت خوبی اطلاعات مورد نیاز از نقطه مورد بررسی را فراهم کند. امروزه سیستم های تشخیص موقعیت در انواع مختلف وجود دارد که از آن جمله سیستم های مکانیکی، پردازش تصویر یا همان سنسور های بینایی و سیستم های صوتی و الکترومغناطیسی را می توان نام برد. قسمت بعد تجهیزات برای شناسای حرکت دست است که توسط دست کش مخصوص انجام می شود که به آن Data Gloves گفته می شود.

اکثر تجهیزاتی که در اینجا بیان شد به صورت بسته های تجاری در بازارهای جهانی به نام تجهیزات VR قابل تهیه است. هر چند در مواردی این تجهیزات ساده و قابل ساخت است اما باز هم اکثر این تجهیزات تولیدات شرکت های محدودی می باشد. که البته بسیار انعطاف پذیر می باشد و قابلیت تطبیق با سیستم های تهیه شده توسط دانشجویان و علاقمندان را دارا می باشد. در کل باید گفت خوشبختانه امکانات برای فعالیت در این زمینه

بهتر و صحیح تر از آن را در سیستمی متقابل بین فضای مجازی و کاربر را می توان تعریف کلی از حقیقت مجازی دانست. هر چند زمانی تصاویر دو بعدی نیز می توانست در این دسته قرار گیرد، مانند آن چه از یک مدل سه بعدی در مانیتور کامپیوتر ملاحظه می کنید اما امروزه سه بعدی بودن آنچه به رویت کاربر می رسد به عنوان رکن اساسی برای سیستم های VR محسوب می شود. تجهیزات و روش های مختلفی برای ایجاد تصاویر سه بعدی ایجاد شده است که بعضاً دارای تجهیزات گسترده ای هستند و در مواردی دارای هزینه های قابل توجه است. غیر از ایجاد تصاویر سه بعدی که به عنوان اولین و مهمترین قسمت از VR محسوب می شود، ایجاد صدا های مناسب از محیط پیرامون کاربر به طوری که در واقعی بودن آن چه که می بیند به آن کمک کند و بتواند مواردی چون دور و نزدیک شدن به منبع صدا و جهت آن را برای کاربر مشخص کند نیز از اجزای مهم دیگر محسوب می شود اما یکی از پیچیده ترین قسمت هایی که در VR وجود دارد ایجاد درکی از لمس اشیای فضای مجازی برای کاربر است که به آن Force Feedback گفته می شود و کار آن همان گونه که از نامش پیداست ایجاد نیروی عکس العمل برای کاربر است به طور مثال وقتی کاربر یک اهرم را که فقط در فضای مجازی وجود دارد جابه جا می کند باید نیروی لازم برای این کار را به طریقی به آن منتقل کرد. با وجود تمام موارد ذکر شده می توان یک سیستم کامل را ایجاد کرد به طوری که کاربر خود را کاملاً در فضای مجازی ساخت شده احساس کند گویی در میان یک کارخانه بزرگ قدم می زند که تمامی قسمت های آن در یک نرم افزار مدل سازی ساخت شده که به اندازه کافی به واقعیت نزدیک است و این تجهیزات نیز (تجهیزات VR) به هر چه واقعی تر شدن آن کمک می کند اما با تمام این وجود هنوز سیستم ما برای ایجاد یک فضای مجازی کامل نیست زیرا که هنوز در مورد تاثیر کاربر بر آنچه می بیند و یا فضایی که اکنون در آن قرار دارد صحبتی به میان نیامد. مثلاً چگونه کاربر دستگاهی را روشن و خاموش کند و یا چگونه جسمی را که وجود خارجی ندارد حرکت دهد و جابجا کند. برای این منظور باید برخی از حرکات کاربر را نیز در فضای مجازی تعریف کنیم. از مهمترین آنها یکی مکان کاربر است یعنی کاربر در چه مکانی قرار دارد و به کدام سمت قدم می زند و به کجا نگاه می کند و دیگر

و انجام هنرمندانه کار می توان می توان گرافیک های قابل قبولی از آن انتظار داشت.

برای ایجاد محیط های Real Time، سه روش وجود دارد که عبارتند از:

#### ۱- استفاده از کدهای OpenGL و DirectX :

در حقیقت این کدها تنها روشی است که می تواند با وجود رابط هایی مستقیماً با سخت افزار سیستم (کارت گرافیکی) ارتباط برقرار کند و فرمان های لازم را صادر کند و مدل های سه بعدی ایجاد شده و اجزای دیگر را به آن معرفی کند تا پردازش تصویر آغاز شود. البته این روش بسیار مشکل است و به تجربه زیادی احتیاج دارد. روش های دیگر هر کدام به گونه ای از این روش استفاده می کنند اما کار را برای استفاده کنندگان راحت تر کرده اند.

#### ۲- استفاده از موتورهای آماده: این موتور ها ی

گرافیکی که حجم زیادی نیز ندارند بسیار در این زمینه موثر هستند و دارای کیفیت های خوبی نیز هستند. شروع کار با آنها بسیار آسانتر است اما کارهای تخصصی با آنها مشکل است. قیمت این نرم افزار ها نیز بسیار بالا می باشد و بیشتر آنها به راحتی در اختیار عموم نیست.

#### ۳- موتور های به صورت SDK : این موتورها در

حقیقت کدهای پیشرفته تری هستند که کار با آنها از کدهای OpenGL و DirectX ساده تر است. این موتورها قادرند به زبان های برنامه نویسی اضافه شوند که در این حالت علاوه بر امکانات ایجاد محیط های Real Time قدرت یک زبان برنامه نویسی را نیز در اختیار خواهیم داشت.

برای ایجاد فضای سه بعدی مجازی در این پروژه از موتور گرافیکی Quest3D استفاده شده که گرافیک قابل قبولی دارد و برای ایجاد محیط های VR دارای امکانات ویژه ای است. برای انجام کارهای تخصصی می توان امکانات این نرم افزار را با نوشتن کدهایی به زبان C++ افزایش داد و به آن اضافه نمود. در شکل (۱) نمایی از نرم افزار Quest3D استفاده شده در تحقیق حاضر نشان داده شده است.

این نرم افزار قادر به مدل سازی نیست اما می توان مدل سازی اجزای مورد نیاز را در نرم افزارهای مدل سازی معمولی انجام داد و با شرایطی به این نرم افزار منتقل

کاملاً آماده است و کاربردهای آن نیز بسیار زیاد می باشد و حتی در مواردی با وجود گرانی تجهیزات VR استفاده از آن ها امری اقتصادی خواهد بود اما با این وجود متأسفانه در کشور ما علاقمندی برای فعالیت در این زمینه به صورت عملی نا کفایت است.

در تحقیق حاضر به ایجاد محیط مجازی (VR) برای کار با ماشین فرز به منظور آموزش دانشجویان مهندسی مکانیک در زمینه آموزش ماشین ابزار و تست و طراحی ماشین می باشد. مزایای استفاده از این روش در مقایسه با روش های سنتی آموزشی بحث و بررسی شده است.

## ماشینکاری در محیط مجازی

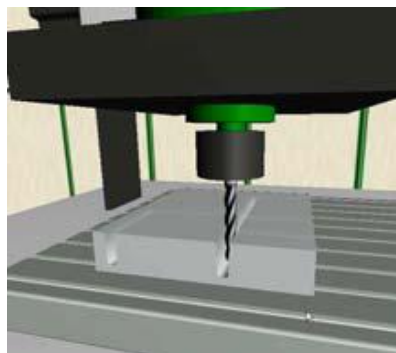
### نرم افزارهای گرافیکی مورد نیاز

اولین قدم برای ماشین کاری مجازی ایجاد یک محیط مجازی مناسب است که در آن کاربر بتواند با یک دستگاه تراش کار کند، قطعه ای را ماشین کاری کند و در واقع بتواند خود را در یک محیطی چون یک کارگاه ماشین کاری احساس کند. ایجاد چنین فضا و امکاناتی توسط نرم افزار های کامپیوتری انجام می شود اما مدل سازی ها و ایجاد محیط کاری و برنامه نویسیهای لازم نمی تواند در یک نرم افزار گرافیکی معمولی طراحی و اجرا شود. همان گونه که می دانید در نرم افزارهایی گرافیکی چون Blender 3D,MAX,Maya، برای پردازش هر فریم زمان قابل درکی مصرف می شود اما محیط مجازی که کاربر در حال رویت آن است باید چون محیط واقعی در دسترس کاربر باشد و بتواند بر هر سو نگاه کند نه این که برای هر تغییر جزئی منتظر پردازش تصویر<sup>۲</sup> بماند. راه حل استفاده از موتورهای گرافیکی است که به صورت Real Time اجرا می شوند. کار پردازش تصاویر توسط کارت گرافیکی کامپیوتر انجام می شود و بسته به سخت افزار و سنگینی برنامه اجرایی می توان بیش از ۷۰ فریم در ثانیه از محیط مجازی در اختیار داشت. در حقیقت با پردازش ۵۰ تا ۶۰ فریم بر ثانیه برای محیط های با تحرک معمولی کاربر تصویر نرم و یک پارچه ای را خواهد دید زیرا که زمان پردازش هر فریم بسیار کمتر از زمان درک انسان است در نتیجه به این گونه موتورهای گرافیکی Real Time گفته می شود. البته کیفیت گرافیکی این گونه موتورها نسبت به برنامه های گرافیکی نام برده به مراتب پایین تر است اما با صرف زمان

کیفیت آن پایین می آید اما این امر اجتناب ناپذیر می باشد. محدودیت این نرم افزار در راستای کاربرد مورد نظر در این گزارش اجرای عملیات ماشین کاری می باشد که می بایست از نتایج و کارهایی در نرم افزارهای مرتبط و یا ساخت شده استفاده کرد و دیگر ارتباط برنامه با تجهیزات جانبی است که به کامپیوتر متصل است مانند سنسورهای تشخیص مکان و تجهیزاتی که برای ایجاد نیروی عکس العمل نسب شده است. هر چند استفاده از نرم افزارهای Real Time مزایای زیادی دارد اما این اجبار در پروژه اعمال می شود که تمامی تجهیزات و برنامه های جانبی باید با سرعت بالایی فعالیت های خود را انجام دهند تا اختلالی در اجرای Real Time برنامه به وجود نیاید. در شکل (۲) فضای مجازی ماشینکاری ایجاد شده با فضای واقعی درون کارگاه مقایسه شده است.

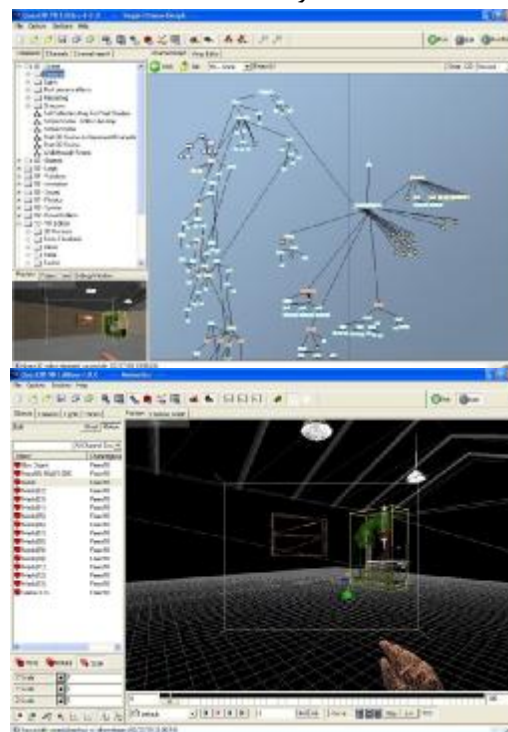


شکل ۲: مقایسه محیط مجاز با واقعی-شکل بالا: محیط واقعی و شکل پایین: محیط مجازی معادل آن.



شکل ۳: ابزار فرز انگشتی در حال براده برداری از قطعه کار می باشد.

کرد. در طراحی مدل ها سه بعدی به کار رفته برای ساخت محیط ماشین کاری در این گزارش از SolidWorks، Blender و 3DMAX استفاده شده است.



شکل ۱: ایجاد محیط مجازی فرز کاری در نرم افزار Quest3D.

تمامی مدل های سه بعدی در اکثر نرم افزارهای Real Time از سطوحی تشکیل شده است که به کمک چند ضلعی ها ساخته می شوند. مدل سه بعدی شامل چند ضلعی ها فقط هندسه مدل را مشخص می کند اما مشخصاتی مانند رنگ، شفافیت، انعکاس و طرح های روی مدل و غیر توسط خصوصیات چگونگی Material و Texture مشخص می شود. Texture ها در واقع یک عکس با مشخصات خاص می باشد که مثل یک پوست تمام مدل را در بر گرفته است. یک نمونه از این گونه مدل ها که کاربرد مهندسی نیز دارد فرمت STL می باشد که از سطوحی شامل مثلث ساخته شده است. در حقیقت پرهیز از سطوح نرم و پیشرفته ای که در دیگر نرم افزارها بسیار معمول است و استفاده از سطوح ساخته شده از تکه های کوچک مسطح به علت ساده کردن و کاهش حجم محاسباتی است مثل عملیات نور پردازی و سایه زنی که زمان زیادی را به خود اختصاص می دهند و در نهایت امکان اجرای Real Time به وجود می آید هرچند تا حدی

کاربر دستش را برای گرفتن اهرم حرکت می دهد خواهد دید که دست مجازی به اهرم مجازی برخورد می کند و البته در واقعیت نیز دست او با اهرمی که معادل آن می باشد برخورد می کند و کاربر می تواند با لمس اهرم آن را حرکت دهد. این روش بسیار موفق تر و موثر تر از دیگر روش ها است. از خصوصیات دیگر این روش این است که اعمال نیروی تراشکاری بر ورنیه ها می تواند با تجهیزات ساده ای اعمال و اجرا شود و کاربر به راحتی در عمل بار برداری دستی تاثیرات افزایش بار و سرعت را احساس کند. در پروژه ی حاضر برای انجام عملیات ماشینکاری توسط ماشین تراش بجای ساخت یک پنل کامل از ماشین تراش، شامل تمامی اهرم ها و ورنیه ها و غیره از یک دستگاه تراش معیوب استفاده شده است البته واضح است که ظاهر ماشین معیوب و حتی عدم وجود موتور محرک به هیچ وجه اهمیت ندارد زیرا هر آنچه کاربر ملاحظه می کند مدل هایی است که توسط کامپیوتر ساخته شده است. حرکت ساپورتر ها و قطعه و همچنین عمل براده برداری نیز به صورت مجازی انجام می شود. برنامه باید قادر باشد تا شرایطی مانند بار زیاد را که از برخورد ابزار با قطعه حاصل می شود را درک کند و با تحلیل شرایط موجود اطلاعات لازم را برای تجهیزات نسب شده بر روی بستر دستگاه ارسال کند و باید در یک تعامل مستقیم با دستگاه باشد تا از منطق حاکم بر کار خارج نشود به طوری که بدون روشن کردن دستگاه بتوان ساپورتر را به طور اتوماتیک حرکت داد این امر جز با آگاهی لحظه به لحظه از آنچه به وقوع می پیوندد و شرایطی که کاربر بر روی دستگاه ایجاد می کند امکان پذیر نیست.

#### Data Gloves

برای شناسایی حرکات دست از دستکش مخصوص استفاده می شود تا کاربر بتواند بر محیط مجازی تاثیر بگذارد. روش کار این گونه است که برای هر دست یک نقطه مرجع انتخاب می شود که توسط Tracking System موقعیت آن در فضا شناسای می شود و بعد با قرار دادن تعدادی سنسور زاویه مفصل های دست را مثل زاویه خم شدن انگشتان را اندازه می گیرند و با ترکیب کردن تمامی زوایای اندازه گیری شده توسط سنسورها و با در دست داشتن نقطه ی مرجع می توان حرکات دست وانگشتان را در فضای مجازی مدل کرد. به طور معمول ۱۴ سنسور برای شبیه سازی یک دست کافی

در شکل (۳) نحوه عمل کرد محیط مجازی را در هنگام فرزکاری نشان می دهد

### سخت افزار های مورد نیاز عینک مخصوص

فضای مجازی که در کامپیوتر ایجاد شده از دید دوربینی که در آن قرار دارد پردازش می شود. این دوربین در حقیقت از چشم کاربر به فضای مجازی نگاه می کند. تکنیکی که در این پروژه استفاده شده تا فضای سه بعدی را در کامپیوتر به صورت سه بعدی به رویت کاربر برساند از یک تکنیک سنتی استفاده می کند که در طول زمان به شکل های مختلفی توسعه یافته است. در حقیقت علت آن که فضای پیرامون خود را به صورت سه بعدی می بینیم این است که تصاویری که از هر دو چشم ما به مغز می رسد پردازش می شود این تکنیک در CMM های غیر تماسی نیز استفاده شده که از چند دوربین و از زوایای مختلف به قطعه نگاه می کند و می تواند محل هر نقطه را در فضا مشخص کند. با در نظر گرفتن آنچه گفته شد دیگر نمی توان به جای کاربر در فضا مجازی از یک دوربین برای پردازش تصویر استفاده کرد. شاید به نظر کار آسانی باشد تا از دو دوربین با فاصله ای معادل فاصله دو چشم در فضای مجازی استفاده کرد اما این چنین نخواهد بود.

#### Force Feedback

باید گفت از این سیستم فقط در موارد خاص استفاده می شود و یا در مواردی که محدودی عمل آن گسترده نباشد. به طور مثال در یک جراحی مجازی نیاز است که جراح اثرات برخورد تیغ جراحی را با قسمت های بدن که به صورت مجازی طراحی شده و به رویت کاربر می رسد را احساس کند.

این تجهیزات تا حدی گران است و نیاز به پردازش و عملیات سنگین کامپیوتری دارد اما در کارهای معمول می توان از روش دیگری که ساده تر است استفاده کرد. در روشی که در این پروژه نیز مورد استفاده قرار گرفته است برای قسمت هایی مانند دستگیره ها و اهرم ها که در فضای مجازی وجود دارد معادلی در فضای واقعی برای آن در نظر گرفته می شود. مثلا برای عمل ماشین کاری نیاز به یک پنل کامل از اهرم ها و ورنیه ها می باشد که بر فضای مجازی ایجاد شده منطبق باشد. در این حالت وقتی

## الگوریتم ها و روابط مورد استفاده در شبیه سازی فرآیند فرزکاری

برای شبیه سازی فرآیند ماشینکاری در محیط حقیقت مجازی نیاز به ایجاد و توسعه روابطی است که فرآیند مورد نظر را توصیف کنند، مانند چگونگی برداشت ماده از قطعه خام، نوع تداخل ابزار با قطعه کار، نیروهای ماشینکاری، تغییر شکل ابزار، نحوه براده برداری و ... . البته توضیح تمامی موارد فوق از حوصله این بحث خارج است، ولی در این جا برای نمونه به چگونگی برداشت ماده از قطعه خام و نیروهای ماشین کاری به اختصار پرداخته می شود:

- برداشت ماده از قطعه خام: برای انجام این عمل در محیط مجازی از عملیات های مرسوم در سیستم های CAD استفاده شده است. از هر حرکت ابزار برشی در فرزکاری از نقطه ای به نقطه دیگر یک جسم سه بعدی در فضا ایجاد می گردد، حال اگر این جسم را از قطعه کار کم کنیم<sup>۲</sup> قطعه ماشین کاری شده حاصل می گردد. هر حرکت ابزار برش را می توان به صورت مجموعه ای از عملیات هایی چون revolve و sweep پروفیل دو بعدی ابزار ایجاد کرد.

- نیروهای ماشین کاری: در این تحقیق نمایش نمودار نیروهای فرزکاری در محیط مجازی در نظر گرفته شده است به گونه ای که با استفاده از به دست آوردن تداخل ابزار با قطعه کار به کمک الگوریتم تداخل دهی، هندسه فرآیند ماشین کاری به صورت خودکار در نرم افزار محاسبه شده و نیروهای ماشین کاری به کمک منابع [۱۴-۱] به دست می آیند.

## مزایای استفاده از پژوهش حاضر در آموزش ماشین کاری

این پروژه به منظور آموزش مجازی ماشینکاری به دانشجویان کارشناسی مکانیک تعریف گردیده است. ایجاد محیط مجازی برای تدریس به دانشجویان دارای مزایای بسیاری است که در زیر به آنها پرداخته می گردد:

۱- افزایش کمیت آموزشی: با توجه به محدودیت دستگاه ها و فضای آموزشی در کشور شبیه ساز ماشینکاری به صورت مجازی می تواند سبب گسترش آموزش در دانشگاه های مختلف کشور که از لحاظ تهیه

است اما با ساده سازی می توان همین کار را با ۵ سنسور نیز انجام داد. مدل ایجاد شده کفایت که کف دست وانگشتان را مدل کند زیرا برای جابه جا کردن و گرفتن اجسام این مقدار کافی می باشد. مدل ایجاد شده از دست در فضای مجازی شرایط مانند دیگر مدل های دیجیتالی در این فضا را خواهد داشت که تقابل آنها با یک دیگر کار پیچیده ای نخواهد بود. البته این تفاوت وجود دارد که مدل سه بعدی دست بر خلاف اکثر اجسامی که در فضا مجازی قرار دارند دارای یک معادلی در واقعیت است و سیستم موقعیت یابی این دو را برهم منطبق کرده است بدیهی است بدون وجود سیستم Force Feedback مدل مجازی دست کاملا تابع حرکات دست کاربر است و کنترلی بر آن ندارد.

### Tracking System

همان گونه که اشاره شد سیستم موقعیت یابی انواع مختلفی دارد و هر کدام دارای مزیت ها و محدودیت هایی می باشد. یکی از این سیستم ها که از سنسور های الکترو مغناطیسی استفاده می کند با نسب سنسور بر روی نقطه مورد نظر دستگاه مرجع می تواند ۶ درجه آزادی آن را نسبت به محل دستگاه مشخص کند و به راحتی به کامپیوتر منتقل کند. برای سیستم VR مطابق آن چه که شرح داده شد حداقل ۳ سنسور مورد نیاز است. برای هر دست در نقطه مرجع و برای عینک مخصوص تا محل ناظر در فضای مجازی مشخص شود.

در شکل (۴) نمونه ای از یک Data Gloves و عینک محیط مجازی آورده شده است.



شکل ۴: دستکش و عینک مخصوص مورد استفاده در محیط مجازی.

با توجه به قابلیت محیط مجازی ماشین کاری در ایجاد هر نوع دستگاه ماشین کاری با هر نوع امکانات پیشرفته، می توان دانشجویان را با دستگاهی بسیار گران قیمت که امکان تهیه آن وجود ندارد آموزش داد و حتی امکانات دلخواه را به آن اضافه کرد.

### نتیجه

در تحقیق حاضر به شبیه سازی فرآیند فرزکاری در محیط مجازی پرداخته شده است. محیط شبیه سازی دارای قابلیت های چون چگونگی برداشت ماده از قطعه خام، نوع تداخل ابزار با قطعه کار، نیروهای ماشین کاری، تغییر شکل ابزار، نحوه براده برداری و ... می باشد. استفاده از محیط مجازی ماشین کاری مزایای بسیاری در زمینه آموزش مهندسان مکانیک دارند که در مقایسه با روش سنتی آموزش سبب افزایش کمی و کیفی فرآیند یادگیری دانشجویان می گردد.

دستگاه های ماشین کاری برای دانشجویان محدودیت مالی دارند و یا دستگاه های آنها مستهلک شده است ، استفاده گردد.

۲- افزایش کیفی آموزش: در محیط مجازی ماشین کاری می توان پدیده هایی چون نیروهای ماشینکاری ، تغییرات دما، تغییر شکل ابزار و ... را به صورت عینی به دانشجو نشان داد، به گونه ای که خود وی تأثیرات این متغیر ها را در فرآیند ماشین کاری حس کند.

۳- کاهش خطرات آموزش: با استفاده از محیط مجازی ماشینکاری دانشجویان مبتدی که تسلط کافی بر دستگاه و طرز کار آن ندارند، از خطراتی که ممکن است در حین کار با دستگاه واقعی برایشان پیش بیاید جلوگیری گردد.

۴- عدم محدودیت در به کارگیری دستگاه های ماشین کاری:

### مراجع

- 1 - Fussel, B. K., Jerard, R. B. and Hemmett, J. G. (2001). "Robust feedrateselection for 3-axis machining using discrete models." *ASME J.Manuf. Sci. Eng.* Vol. 123, PP. 214–224.
- 2 - Garnier, S. and Furet, B. (2000). "Identification of the specific coefficientto monitor the cutting process in milling." *In: CIRP II International Seminar on Improving Machine Tool Performance*, La Baule, France, 3–5 July.
- 3 - Gradišek, J., Kalveram, M. and Weinert, K. (2004). "Mechanistic identification of specific force coefficients for a general end milling." *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 44, PP. 401–414.
- 4 - Kim, G. M., Kim, B. H. and Chu, C. N. (2003). "Estimation of cutter deflection and form error in ball-end milling." *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 43, PP. 917–924.
- 5 - Kline, W. A. and DeVor, R. E. (1983). "The effect of runout on cutting geometry and forces in end milling." *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 23, PP. 123–139.
- 6 - Ko, J. H., Yun, W. S., Cho, D. W. and Ehmann, K. F. (2002). "Development of a virtual machining system, Part 1: approximation of size effect for cutting force prediction." *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 42, PP. 1595–1605.
- 7 - Larue, A. and Anselmetti, B. (2003). "Deviation of a machined surfacein flank milling." *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 43, PP.129–138.
- 8 - Paris, H. and Delhez, C. (2000). "Modelling cutting force in high speedmilling." *In: Proceedings of CIRP II International Seminar on Improving Machine Tool Performance*, La Baule, France, 3–5 July.
- 9 - Shin, Y. C. and Waters, A. J. (1997). "A new procedure to determine instantaneous cutting force coefficients for machine force prediction." *International Journal of Machine Tool and Manufacture*, Vol. 37, PP. 1337–1351.

- 10 - Tsai, J. S. and Liao, C. L. (1999). "Finite-element modelling of static surface errors in the peripheral milling of thin-walled workpieces." *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 94, PP. 235–246.
- 11 - Xu, P., Qu, Y. X., Zhang, D. W. and Huang, T. (2003). "Simulation and experimental investigation of the end milling process considering the cutter flexibility." *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 43, PP. 283–292.
- 12 - Yucesan, G. and Altintas, Y. (1994). "Improved modelling of cutting forces coefficients in peripheral milling." *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 34, PP. 473–487.
- 13 - Yun, W. S. and Cho, D. W. (2000). "An improved cutting force model considering the size effect in end-milling." *In: Proceedings of the ASME Manufacturing in Engineering Division MED-2000*, Vol. 11, PP. 223–229.
- 14 - Yun, W. S. and Cho, D. W. (2001). "Accurate 3-D cutting force prediction using cutting condition independent coefficients in end milling." *International Journal of Machining Tools and Manufacture*, Vol. 41, PP. 463–478.

### واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Virtual Reality
- 2 - Rendering
- 3 - Boolean operations