



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی

هدایت پهباد با علائم دست مبتنی بر بینایی ماشین

نگارش
سارا تاجرنیا

استاد راهنما
دکتر مهدی جوانمردی

اردیبهشت ۱۴۰۳

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی

هدایت پهباد با علائم دست مبتنی بر بینایی ماشین

نگارش
سارا تاجرنیا

استاد راهنما
دکتر مهدی جوانمردی

اردیبهشت ۱۴۰۳

صفحه فرم ارزیابی و تصویب پایان نامه - فرم تأیید اعضاء کمیته

دفاع

در این صفحه فرم دفاع یا تایید و تصویب پایان نامه موسوم به فرم کمیته دفاع - موجود در پرونده آموزشی - را قرار دهید.

نکات مهم:

- نگارش پایان نامه/رساله باید به **زبان فارسی** و بر اساس آخرین نسخه دستورالعمل و راهنمای تدوین پایان نامه های دانشگاه صنعتی امیرکبیر باشد.(دستورالعمل و راهنمای حاضر)
- رنگ جلد پایان نامه/رساله چاپی کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترا باید به ترتیب مشکی، طوسی و سفید رنگ باشد.
- چاپ و صحافی پایان نامه/رساله بصورت **پشت و رو(دورو)** بلامانع است و انجام آن توصیه می شود.



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

به نام خدا

تعهدنامه اصالت اثر

تاریخ: اردیبهشت ۱۴۰۳

اینجانب **سارا تاجرنیا** متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب تحت نظارت و راهنمایی اساتید دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده و به دستاوردهای دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق مقررات و روال متعارف ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتر ارائه نگردیده است.

در صورت اثبات تخلف در هر زمان، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از درجه اعتبار ساقط بوده و دانشگاه حق پیگیری قانونی خواهد داشت.

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی امیرکبیر می‌باشد. هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی، واگذاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان‌نامه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مآخذ بلامانع است.

سارا تاجرنیا

امضا

این پایان نامه را تقدیم می‌کنم به مهرباترین همراهان زندگیم، پدر، مادر، برادران
عزیزم که حضورشان همیشه گرمابخش روح من بوده است.

سپاسگزاری

زندگی دفتري از خاطره هاست، يك نفر در دل شب، يك نفر در دل خاك، يك نفر همدم خوشبختي هاست، يك نفر همسفر سختي هاست، چشم تا باز كنيم، عمرمان مي گذرد ما همه رهگذريم، آنچه باقيست فقط خوبي هاست.

تشكر مي كنم از تمامي عزيزاني كه در تمامي مراحل زندگي همراه من بوده اند.
و همچنين از استاد گرامي جناب آقاي دكتر مهدي جوانمردي كه در انتخاب و پيشبرد اين پروژه به عنوان استاد پروژه، كمك هاي فراواني به اين جانب داشتند، كمال تشكر را دارم.

سارا تاجرنا
ارديشست ۱۴۰۳

چکیده

پهپادهای تجاری که به عنوان هواپیماهای بدون سرنشین^۱ نیز شناخته می‌شوند، به سرعت در حال رایج شدن هستند و در بسیاری از کاربردهای مختلف مانند نظارت برای رویدادهای ورزشی، حمل و نقل تجهیزات و کالاهای اضطراری، فیلمبرداری، عکاسی هوایی و بسیاری از فعالیتهای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

هدف این پروژه توسعه سیستمی است که از حرکات دست به عنوان روشی برای کنترل پرواز یک پهپاد استفاده می‌کند. بدین صورت که با استفاده از روش‌های بینایی ماشین^۲، روشی بصری برای ارتباط بدون عامل بین پهپاد و اپراتور آن ایجاد می‌کند. روش‌های مبتنی بر بینایی ماشین بر توانایی دوربین هواپیماهای بدون سرنشین متکی هستند. بدین صورت که تصاویر اطراف را گرفته و با استفاده از ترجمه تصاویر و تشخیص الگوی دست اطلاعات معناداری را استخراج می‌کنند. ساختار این پروژه از دو ماژول اصلی تشکیل شده است: تشخیص حرکت دست^۳ و دستور به هواپیمای بدون سرنشین. برای ماژول اول از یک روش یادگیری عمیق^۴ استفاده شده است. الگوریتم‌ها و تکنیک‌های پردازش تصویر به عنوان روشی پویا برای شناسایی ژست‌ها و حرکات دست معرفی شده‌اند. ماژول دوم وظیفه ارتباط با پهپاد را بر عهده دارد. بدین صورت که پیام‌های بین سیستم پیشنهادی و پهپاد متصل به سیستم را ارسال و دریافت می‌کند و طبق آن پیام‌ها عملیات مورد نظر را اجرا می‌کند.

واژه‌های کلیدی:

پهپاد، هواپیمای بدون سرنشین، ژست دست، بینایی ماشین، شبکه‌های عصبی پیچشی^۵، حافظه طولانی

¹Unmanned aerial vehicles

²Computer vision

³Hand detection

⁴Deep learning

⁵Convolutional neural network

⁶Long short-term memory

⁷Machine learning

⁸Human-drone interface

کوتاه مدت^۶، یادگیری ماشین^۷، رابط انسان و پهباد^۸

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱	.....	۱ مقدمه
۳	.....	۱-۱ چالش‌های استفاده از پهپاد
۳	.....	۲-۱ اهمیت استفاده از بینایی ماشین در پهپاد
۵	.....	۳-۱ هدف پروژه
۵	.....	۴-۱ مراحل انجام پروژه
۵	.....	۵-۱ چالش‌های اجرای پروژه
۷	.....	۲ موسیقی
۸	.....	۱-۲ مدیاپایپ
۸	.....	۱-۱-۲ مدل تشخیص کف دست
۹	.....	۲-۱-۲ مدل تشخیص نقاط عطف دست
۹	.....	۲-۲ اهمیت ژست دست
۱۰	.....	۳-۲ کنترل پهپاد
۱۱	.....	کتاب‌نامه

فهرست تصاویر

صفحه

شکل

۱-۲ یییس ۹

صفحه	فهرست جداول	جدول
------	-------------	------

فصل اول

مقدمه

پهپادها یا به عبارتی هواپیماهای بدون سرنشین امروزه در صنایع مختلف به عنوان یک فناوری بسیار گسترده و کارآمد مورد استفاده قرار می‌گیرند. هواپیماهای بدون سرنشین اساساً به عنوان ربات‌های پرنده‌ای دیده می‌شوند که عملکردهای متعددی مانند جمع‌آوری داده‌ها و سنجش از محیط اطراف را بر عهده دارند [۱]. از جمله این صنایع می‌توان به کشاورزی، ساخت و ساز، خدمات حمل و نقل و نقشه‌برداری اشاره کرد. یکی از دلایل اصلی افزایش کاربرد این هواپیماهای بدون سرنشین، کارایی بالای آنها است. این فناوری نه تنها به دلیل سرعت بالا در پوشش‌دهی مساحت‌های گسترده، بلکه به دلیل قابلیت برنامه‌ریزی و استفاده در صنایع مختلف مورد توجه قرار می‌گیرد. همچنین، صرفه‌جویی در هزینه‌های مالی و جانی و افزایش امنیت نیز از جمله عوامل مهمی است که اهمیت پهپادها را بیشتر می‌کند [۲].

این واقعیت که اکثر پهپادها می‌توانند محموله‌ها را حمل کنند، بسیاری از شرکت‌های تولید کننده پهپاد را تشویق کرده است تا انواع مختلفی از ویژگی‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری مانند حسگرها را به پهپادها اضافه کنند، که ابتدایی‌ترین آنها دوربین است. در ادامه زمینه مطالعاتی جدیدی به نام رابط هواپیماهای بدون سرنشین و انسان^۱ گشوده شد تا تعامل بین پهپاد و انسان را پیشرفت دهد. این تعامل مجموعه دستگاه‌های سنتی مانند کنترلر رادیویی^۲ تا کنترل پهپادها با استفاده از وضعیت بدن و دست انسان را شامل می‌شود [۳].

یکی از رویکردهای مورد استفاده برای افزایش کاربرد و دسترسی به پهپادها، استفاده از بینایی ماشین است. این ویژگی معمولاً از طریق پردازش تصویر و با استفاده از شبکه‌های عصبی به کار می‌رود. پهپادهایی که با مدل‌های بینایی ماشین آموزش می‌بینند، توانایی تحلیل تصاویر و ویدئوهای که از محیط اطراف دریافت می‌کنند را دارا هستند. این قابلیت به پهپاد این امکان را می‌دهد که بدون نیاز به تداخل انسانی، وظایفی همچون امنیت، ارسال کالا، پست و این چنین موارد را انجام دهد [۴]. می‌توان گفت هدف اصلی استفاده از بینایی ماشین در پهپادها برای به حداقل رساندن دخالت انسان به صورت مستقیم است. این امر پهپاد را قادر می‌سازد تا تشخیص اشیاء، تشخیص چهره، تحلیل تصاویر، شناسایی الگوهای مختلف و مواردی از این دست را به صورت خودکار انجام دهند [۵].

¹Human drone interface

²Radio Controllor

۱-۱ چالش‌های استفاده از پهپاد

استفاده از پهپادها، با چالش‌های متعددی همراه است. یکی از این چالش‌ها، محدودیت زمان پرواز است که پس از مدتی نیاز به شارژ مجدد دارند. همچنین، محدودیت‌های محیطی نیز می‌تواند به چالش‌هایی بدل شوند؛ زیرا پهپادها به شرایط محیطی مانند آب و هوا، یا وزن و ارتفاع حساس هستند و این موارد می‌تواند در طراحی آنها تأثیر به‌سزایی داشته باشد. در ادامه باید به میزان اهمیت امنیت اطلاعات هم اشاره کرد، زیرا پهپادها به دلیل استفاده از سیستم‌های موقعیت‌یاب و ارتباطات بی‌سیم ممکن است در برابر حملات سایبری آسیب‌پذیر باشند و اطلاعات مهمی که توسط آنها مخابره می‌شود، در معرض خطر قرار گیرد.

همچنین می‌توان به برخی چالش‌هایی که ما هم در این پروژه به صورتی با آنها سر و کار داریم و در تلاشیم آنها را از بین ببریم یا کمتر کنیم اشاره کرد. مانند انتقال اطلاعات زیرا برای ارتباط با پهپادها از شبکه‌های بی‌سیم استفاده می‌شود و در شرایطی مانند اشباع شبکه یا فاصله بین پهپاد و کنترل‌کننده، ممکن است این ارتباط دچار مشکل شود. علاوه بر این، محدودیت محاسباتی پهپاد نیز با توجه به اهدافی که برای آن در نظر گرفته شده می‌تواند چالش برانگیز باشد؛ زیرا پهپادها به دلیل محدودیت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، دارای پردازشگرها و حافظه‌های محدودی هستند [۶]. قابل ذکر است که با ادامه پیشرفت فناوری پهپاد، می‌توان انتظار داشت که ویژگی‌های جدید و نوآورانه‌ای برای از بین بردن این محدودیت‌ها و چالش‌ها به پهپادهای آینده اضافه شود.

۲-۱ اهمیت استفاده از بینایی ماشین در پهپاد

طبق اعلام پیش‌بینی اداره هوانوردی فدرال، بازار هواپیماهای بدون سرنشین تا سال ۲۰۲۵ به ۱۷ میلیارد خواهد رسید و ۷ میلیون هواپیمای بدون سرنشین به آسمان پرواز خواهند کرد. پهپادهای کنترل از راه دور به تدریج به دستگاه‌های نیمه خودکار یا کاملاً خودکار تبدیل می‌شوند که از پیاده‌سازی مبتنی بر هوش مصنوعی بهره می‌برند. در این پروژه هدف ما هدایت پهپاد با استفاده از علائم دست مبتنی بر بینایی ماشین است که یک حوزه پژوهشی مهم در ترکیب هوش مصنوعی و رباتیک است. استفاده از حرکات دست در کنترل هواپیماهای بدون سرنشین در حال تبدیل شدن به یک روش محبوب برای تعامل است، این پایان نامه یک سیستم کامل برای کنترل هواپیماهای بدون سرنشین با استفاده از حرکات دست

³Real-time

⁴Accuracy

پیشنهاد می‌کند. سیستم پیشنهادی باید در زمان واقعی^۳ کار کند و دقت^۴ خوبی داشته باشد تا بتواند به بهترین نحو ممکن پهپاد را کنترل کند [۳].

در این روش، از سیستم بینایی ماشین به منظور تشخیص و تحلیل حرکات دست از روی تصاویر ویدئویی پهپاد استفاده می‌شود. با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری عمیق و شبکه‌های عصبی، سیستم قادر است علائم و حرکات دست را تشخیص داده و به تفسیر آنها بپردازد. سپس، براساس تحلیل این حرکات، دستورات مربوطه برای حرکت و کنترل پهپاد صادر می‌شود. بدین صورت این روش نه تنها از دقت بالا برای تشخیص و تفسیر حرکات دست برخوردار است، بلکه قابلیت ارائه یک رابط کاربری بین انسان و پهپاد را نیز فراهم می‌کند. به طوری که با استفاده از حرکات دست کاربر قادر است به راحتی و بدون نیاز به دستگاه‌های کنترل خارجی، پهپاد را هدایت کند [۷].

استفاده از حرکات دست برای کنترل پهپاد مزایای زیادی دارد. ابتدا باید گفت که حرکات دست یک شکل طبیعی ارتباطی هستند و استفاده از آنها برای کنترل پهپاد یک روش شهودی و طبیعی برای تعامل با فناوری است. این امر باعث می‌شود که کاربران بتوانند به راحتی و با کمترین تلاش پهپاد را کنترل کنند. استفاده از حرکات دست به کاربر اجازه می‌دهد پهپاد را با سرعت و دقت بیشتری کنترل کند و محدودیت‌های مرتبط با دستگاه‌های کنترل سنتی را کاهش دهد. همچنین، این روش، حرکت و دنبال کردن پهپاد را آسان‌تر می‌کند و امکان جابجایی پهپاد در فضا را بهبود می‌بخشد.

استفاده از علائم دست سبب کاهش نیاز به دستگاه‌های کنترل پیچیده می‌شود و به این ترتیب، پهپاد را برای طیف وسیع‌تری از کاربران قابل دسترس می‌کند. این امر به کاربرانی که با دستگاه‌های کنترل سنتی آشنایی ندارند، امکان استفاده آسان از پهپاد را می‌دهد. همچنین، با توجه به چالش‌هایی که از قبل بیان شده است، این روش خطرات مرتبط با اتصالات بی‌سیم بین کنترلر و پهپاد را کاهش می‌دهد و دقت در کنترل پهپاد در محیط‌های پرتلاطم و مختلف را افزایش می‌دهد. همچنین، می‌توان به توانایی تشخیص حرکات دست و گستردگی حرکات کنترلی اشاره کرد.

⁵Image Processing

⁶Deep Neural Network

⁷Convolutional Neural Network(CNN)

⁸Image Classification

۳-۱ هدف پروژه

هدف این پروژه کنترل کردن پهباد با استفاده از پردازش تصویر^۵ در زمان واقعی است. برای پیاده‌سازی آن می‌توان از یک شبکه عصبی عمیق^۶، مانند یک شبکه عصبی کانولوشن^۷، استفاده کرد. دلیل استفاده از این معماری قابلیت استخراج خودکار ویژگی‌ها با توجه به الگوریتم طبقه‌بندی تصاویر^۸ است. عملکرد شبکه عصبی کانولوشنال به این گونه است که ویژگی‌ها را با توجه به لایه‌های پنهان می‌آموزد، همچنین می‌تواند تعداد پارامترها را بدون به خطر انداختن دقت مدل تغییر دهد. با گذشت زمان محققان معماری‌های مختلفی از شبکه عصبی کانولوشن را برای دقت^۹ بهتر، زمان پردازش کمتر و پیچیدگی‌های^{۱۰} گوناگون مطرح کردند.

۴-۱ مراحل انجام پروژه

۱. جمع‌آوری دیتاست ویدیو

۲. استخراج فریم‌ها از ویدیو (۳۰ فریم بر ثانیه) و کم کردن حجم عکس‌ها

۳.

۴.

۵.

۵-۱ چالش‌های اجرای پروژه

وجود سخت‌افزاری مناسب برای اجرای این پروژه الزامی است. پهباد انتخاب شده در ابتدا باید شامل یک دوربین با رزولوشن نسبتاً بالا (حداقل **** پیکسل باشد) تا ژست دست تا فاصله سه متری از پهباد به وضوح گرفته شود. در ادامه از آنجایی که زمان واقعی در این پروژه از اهمیت بالایی برخوردار است پهباد باید پردازنده نسبتاً قوی داشته باشد تا بتواند به صورت مستقل و بدون نیاز به هیچ‌گونه سخت افزار خارجی مدل را اجرا کرده، بدین صورت که در هر لحظه ورودی عکس گرفته‌شده از دوربین را به مدل بدهد و در کمترین زمان ممکن بتواند خروجی مدل را به دست آورده و دستور مورد نظر را روی

⁹Accuracy

¹⁰Complexity

پهپاد به اجرا درآورد. از دیدگاهی دیگر از آنجایی که اجرای یک مدل بینایی ماشین یک برنامه سنگین است و اجرای آن برای عموم پهپادها انرژی زیادی میطلبد، لذا باید پهپادی را انتخاب کرد که از شامل باتری بادوام و باکیفیت باشد که هم در هنگام اجرای مدل بتواند انرژی موردنیاز پردازنده را فراهم کند و همچنین عمر کوتاه آن به مرور زمان برای استفاده کننده آزاردهنده نباشد.

فصل دوم

موسیقی

۱-۲ مدیاپایپ

برای این پروژه ما از مدل از قبل آموزش داده شده^۱ در کلاس مدیاپایپ که مخصوص نقاط عطف دست است استفاده میکنیم. مدیاپایپ از یک خط لوله یادگیری ماشین متشکل از چندین مدل که با هم کار می کنند استفاده می کند: یک مدل تشخیص کف دست^۲ که تصویر را از ورودی می گیرد و عکس محدوده دست را به عنوان خروجی دریافت میکند و یک مدل تشخیص نقاط عطف دست^۳ که عکس دست را به عنوان ورودی گرفته و مختصات ۲۱ نقطه کلیدی بندهای انگشتان دست را در ناحیه دست تشخیص می دهد.

۱-۱-۲ مدل تشخیص کف دست

مدل تشخیص کف دست مدیاپایپ دارای دقت متوسط ۷۹۵ درصد است که این دقت بالا با استفاده از استراتژی های مختلف به دست آمده است. ابتدا، به جای آشکار کردن دست^۴، آشکار کردن کف دست را به مدل آموزش می دهند، زیرا پیدا کردن محدود از اجسام سفت و سخت مانند کف دست و مشت بسیار ساده تر از تشخیص دست ها با انگشتان مفصلی است. علاوه بر این، از آنجایی که کف دست ها اشیاء کوچکی هستند، الگوریتم سرکوب غیر حداکثری^۵ که یک تکنیک پس پردازش^۶ است و در تشخیص اشیا برای حذف تشخیص های تکراری^۷ و انتخاب مرتبط ترین اشیا شناسایی شده استفاده می شود. این به کاهش مثبت کاذب^۸ و پیچیدگی محاسباتی^۹ یک الگوریتم تشخیص کمک می کند. تا بهترین محدوده مربعی^{۱۰} با واریانس بالا^{۱۱} را بدست آورد. [۸]

¹Pretrained

²Palm detection model

³Hand landmark model

⁴hand detector

⁵Non-maximum suppression

⁶post-process

⁷duplicate detections

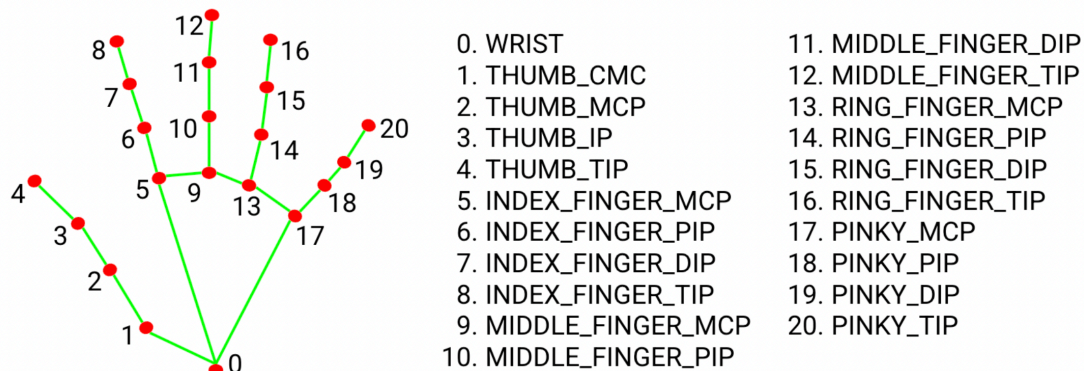
⁸false positive

⁹computational complexity

¹⁰bounding box

¹¹high scale variance

¹²regression



شکل ۱-۲ یییس

۲-۱-۲ مدل تشخیص نقاط عطف دست

در این مرحله مکان‌یابی مختصات ۲۱ نقطه کلیدی بندهای انگشتان دست که شامل سه بعد است از طریق رگرسیون^{۱۲} انجام می‌شود. این مدل بر روی ۳۰ هزار تصویر دنیای واقعی با ۲۱ مختصات سه بعدی برچسب زده‌شده^{۱۳} آموزش دیده‌است. برای پوشش بهتر ژست‌های احتمالی دست و ارائه نظارت بیشتر بر ماهیت هندسه دست، این دیتاست از مدل‌های دست مصنوعی با کیفیت بالا را نیز روی پس‌زمینه‌های مختلف ارائه می‌کند تا دقت را به بالاترین حد ممکن برساند. این مدل حتی در برابر دست‌های نیمه نیز عملکرد قوی نشان می‌دهد. [۸]

۲-۲ اهمیت ژست دست

وقتی مردم صحبت می‌کنند، ژست می‌گیرند. ژست جزء اساسی زبان است که اطلاعات معنادار و منحصر به فردی را انتقال می‌دهد. ژست‌ها به گوینده کمک می‌کنند تا اهداف خود را بهتر منعکس کند. آن‌ها نقش‌های بسیاری را در ارتباط، یادگیری و درک هم برای افرادی که آن‌ها را مشاهده می‌کنند و هم برای کسانی که آن‌ها را ایجاد می‌کنند، ایفا می‌کنند. وقتی مردم صحبت می‌کنند، دستان خود را حرکت می‌دهند. به حرکات خود به خودی دست که در ریتم گفتار ایجاد می‌شوند، حرکات هم‌گفتاری^{۱۴} نامیده می‌شوند و مردم از همه فرهنگ‌ها و پیشینه‌های زبانی شناخته شده ژست می‌گیرند و برای ارتباط از حرکات هم‌گفتاری برای رساندن بهتر مفهوم خود کمک می‌گیرند. در واقع، نوزادان قبل از اینکه اولین کلمات خود را بیان کنند، از انواع ژست‌ها استفاده می‌کنند. دست‌های ما به ما کمک می‌کنند صحبت

¹²labeling¹⁴co-speech gestures

کنیم، فکر کنیم، و به خاطر بسپاریم، گاهی دانش منحصر به فردی را که هنوز نمی‌توان به زبان آورد، آشکار می‌کنند. به طوری که می‌توان گفت ژست‌ها اغلب به عنوان زبان گفتاری ثانویه در نظر گرفته می‌شود. [۹] ژست‌ها به‌ویژه زمانی مؤثر هستند که مزیتی نسبت به کلمات داشته باشند. [۱۰] توانایی درک شکل و حرکت دست‌ها می‌تواند یک جزء حیاتی در بهبود تجربه کاربر^{۱۵} در حوزه‌ها و پلتفرم‌های مختلف فناوری باشد. درک مفهوم ژست دست در زمان واقعی برای افراد به طور طبیعی وجود دارد، یک کار بینایی کامپیوتری کاملاً چالش برانگیز است، زیرا دست‌ها اغلب خود یا یکدیگر را مسدود می‌کنند مانند انسداد انگشت، کف دست و لرزش دست و فاقد الگوهای کنتراست بالا هستند. [۸]

۳-۲ کنترل پهیپاد

اکثر پهیپادهای تجاری موجود در بازار یا دارای کنترلرهای طراحی شده ویژه هستند، یا دارای فرستنده سیگنال اختصاصی و برنامه‌های نرم‌افزاری هستند که روی دستگاه‌های دستی کاربران مانند تلفن‌های همراه یا تبلت‌ها اجرا می‌شوند. در هر دو مورد، کنترل‌کننده فرمان‌هایی را با اطلاعات دقیق از طریق کانال‌های بی‌سیم مانند وای‌فای یا بلوتوث ارسال می‌کند. اخیراً محصولات تجاری وجود داشته است که حرکات دست را به عنوان یک مکانیسم کنترل قابل اجرا معرفی می‌کنند. برای گرفتن ژست‌ها، دو رویکرد وجود دارد.

- استفاده از دستکش‌های طراحی شده ویژه: کنترل‌کننده بر روی دستکشی که توسط کاربران استفاده می‌شود نصب می‌شود و در زمان واقعی انحراف، گام و چرخش دست را شناسایی می‌کند تا به حرکات مربوطه برای پهیپاد را شناسایی و ارسال کند. محصولات عبارتند از Kd Interactive و MenKind Motion Control Drone و Aura Drone

- استفاده از بینایی کامپیوتر از طریق دوربین: این دستگاه‌ها از دوربین نصب شده روی پهیپاد استفاده می‌کنند تا بتوانند در لحظه تشخیص دهند که دست کاربر کجاست و در چه حالتی قرار دارد تا پهیپاد را کنترل کند. محصولات عبارتند از DJI Spark Drone

¹⁵user experience

کتاب نامه

- [1] Walter, Ian and Khadr, Monette. Gesture controlled drone.
- [2] Puri, Vikram, Nayyar, Anand, and Raja, Linesh. Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture. *Journal of Statistics and Management Systems*, 20(4):507–518, 2017.
- [3] Hadri, Soubhi. Hand gestures for drone control using deep learning. 2018.
- [4] Zhu, Pengfei, Wen, Longyin, Bian, Xiao, Ling, Haibin, and Hu, Qinghua. Vision meets drones: A challenge. *arXiv preprint arXiv:1804.07437*, 2018.
- [5] Guvenc, Ismail, Koochifar, Farshad, Singh, Simran, Sichitiu, Mihail L, and Matolak, David. Detection, tracking, and interdiction for amateur drones. *IEEE Communications Magazine*, 56(4):75–81, 2018.
- [6] Hassanalian, Mostafa and Abdelkefi, Abdessattar. Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. *Progress in Aerospace sciences*, 91:99–131, 2017.
- [7] Yoo, Minjeong, Na, Yuseung, Song, Hamin, Kim, Gamin, Yun, Junseong, Kim, Sangho, Moon, Changjoo, and Jo, Kichun. Motion estimation and hand gesture recognition-based human–uav interaction approach in real time. *Sensors*, 22(7):2513, 2022.
- [8] Zhang, Fan, Bazarevsky, Valentin, Vakunov, Andrey, Tkachenka, Andrei, Sung,

- George, Chang, Chuo-Ling, and Grundmann, Matthias. Mediapipe hands: On-device real-time hand tracking. *arXiv preprint arXiv:2006.10214*, 2020.
- [9] Clough, Sharice and Duff, Melissa C. The role of gesture in communication and cognition: Implications for understanding and treating neurogenic communication disorders. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14:323, 2020.
- [10] Kang, Seokmin and Tversky, Barbara. From hands to minds: Gestures promote understanding. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 1:1–15, 2016.