

تشخیص و رهگیری بلادرنگ شی هدف با بهره گیری از شبکه یولو توسط ربات پرنده

در این مقاله، از روش یولو نسخه ۳ برای تشخیص بلادرنگ هدف، جهت ردیابی توسط کوادکوپتر تلو استفاده شده است. شبکه یولو با استفاده از ۲۰۰۰ تصویر از هدف با دقت بالای ۹۹٪ آموزش دیده است. این شبکه قادر است در شرایط نوری و زمینه ای متفاوت با سرعت ۱۵ فریم بر ثانیه و دقت تشخیص ۹۸٪ و دقت تعقیب ۹۵٪ هدف را شناسایی کند. بعد از تشخیص هدف خطاهای سیستم محاسبه می شود و به کنترل کننده ها داده می شود تا هدف را به صورت بلادرنگ ردیابی کند. کنترل کننده های طراحی شده به صورت بلادرنگ هدف را با خطای زیر ۲۰٪ تعقیب کند و اجازه خارج شدن هدف از مرکز دید کوادکوپتر داده نمی شود.

میرابوالفضل

مختاری^۱

استادیار

مهرداد طاهری^۲

کارشناسی ارشد

واژه های راهنما: ربات پرنده، الگوریتم یولو، ردیابی هدف، شناسایی هدف

۱- مقدمه

یادگیری عمیق در هوش مصنوعی اخیراً مورد استقبال پژوهشگران قرار گرفته است. از این طیف گسترده در برنامه‌هایی مانند سیستم‌های خودمختار، تشخیص چهره، اتومبیل‌های خودران، تشخیص تصویر و گفتار، طبقه بندی و تشخیص اشیا استفاده می‌شود. در پهپادها یا هواپیما بدون سرنشین، یادگیری عمیق در حال تبدیل شدن به یکی از جذاب‌ترین و کاربردی‌ترین طیف پژوهشی است. یکی از کاربردهای بسیار مهم و ارزشمند یادگیری عمیق، عملیات رهگیری شی و یا مجموعه ای از اشیا در تصویر است. در این زمینه در دهه اخیر پژوهش‌های بسیار زیادی صورت گرفته است و الگوریتم‌های مختلفی برای رهگیری طراحی و توسعه داده شده است. اما در رهگیری این گونه مدل‌ها مشکلات فراوانی وجود دارد. از جمله این مشکلات می‌توان به تغییر شکل ظاهری شی مورد علاقه اشاره کرد. این تغییر شکل بدان معنی نمی‌باشد که جسم تحت تأثیر نیروهایی شکل اصل خودش را از دست بدهد. بلکه این تغییرات شکل شی ناشی از اثراتی مانند شدت نور محیط، حرکت دوربین و موقعیت آن، جهت قرار گیری شی و قرار گرفتن بخشی از شی در پشت اشیای دیگر می‌باشد که در دید دوربین، به نظر می‌رسد ظاهر شی دچار تغییر شده است. به دنبال تغییر شکل شی در تصویر، تشخیص آن در دنباله تصاویر ویدئویی دچار مشکل می‌شود. از یادگیری عمیق می‌توان جهت افزودن

^۱ نویسنده مسئول، استادیار، گروه خلبانی، دانشکده پرواز، دانشگاه افسری امام علی (ع)، تهران s.abolfazl.mokhtari@aut.ac.ir

^۲ کارشناسی ارشد، دانشکده مکانیک، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران mehrdadta72@aut.ac.ir

توانایی پیدا کردن محل فرود، هدایت کوادکوپتر در محیط باز، تشخیص مسیر حرکت، عبور از موانع و تعقیب اهداف متحرک استفاده کرد [۱،۲،۳،۴،۵،۶].

در سال‌های اخیر در داخل کشور پژوهش‌های بسیاری در زمینه کوادکوپترها در حال انجام است ولی عدم وجود الگوریتم‌های یادگیری عمیق و بینایی ماشین جهت پردازش تصویر و داده‌برداری قابل لمس است. در داخل کشور در سال (۱۳۹۸) نورانی و شعاران با استفاده از منطق فازی به کنترل موقعیت کوادکوپتر پرداخته‌اند. در این مقاله از الگوریتم جدیدی برای تخمین موقعیت ربات پرنده با استفاده از تک دوربین پرداخته است. همچنین از یک کنترل کننده برای پایدارسازی شناوری کوادکوپتر و بدست آوردن موقعیت فعلی آن استفاده شده است. نتایج تحقیقات ایشان نشان دهنده عملکرد دقیق تر و مطلوب تر الگوریتم‌های استفاده شده در کنترل موقعیت می‌باشد [۷]. همچنین در مقاله زارعی در سال (۱۳۹۸) به بررسی روش‌های پیاده‌سازی تشخیص اشیاء با استفاده از پردازش پردازش تصویر در ربات‌های پرنده پرداخته شده است [۸]. اما در این مقاله فقط به روش‌های پردازش تصویر در ربات‌های پرنده پرداخته شده است و مدلسازی یا تست تجربی مطرح نشده است. متأسفانه پژوهش‌های ذکر شده برای زمینه کوادکوپتر هوشمند با قابلیت تعقیب با استفاده از بینایی ماشین در داخل کشور دارای تست تجربی نیستند و عمدتاً به صورت نظری می‌باشند. کارهای تجربی در زمینه کوادکوپتر بیشتر به کنترل موقعیت کوادکوپتر پرداخته‌اند و از پردازش تصویر برای پسخوراند استفاده نشده است. عدم تست تجربی و عدم استفاده از الگوریتم‌های یادگیری عمیق در کوادکوپترها را میتوان اصلی‌ترین ضعف کارهای پژوهشی در این زمینه در داخل کشور دانست. [۹،۱۰،۱۱،۱۲،۱۳]

آلگبری در سال (۲۰۱۷) با استفاده از کوادکوپتر آی آر ۴ به رهگیری و تعقیب هدف پرداخته است. در رهگیری هدف از الگوریتم شناسایی رنگ و ویژگی هدف استفاده کرده است. همچنین از کنترل فازی برای تعقیب هدف استفاده شده است. از جمله معایب این کار وابستگی به شرایط نورانی محیط و زاویه دید کوادکوپتر نسبت به هدف است که میتواند شناسایی هدف را مختل کند [۱۴]. بنجدیرا در سال (۲۰۱۸) از کوادکوپتر برای نظارت بر ترافیک و تشخیص و شمارش اتومبیل‌ها استفاده کرده است. آنها از دو الگوریتم پیشرفته شبکه عصبی کانولوشنال^۴ یعنی شبکه عصبی کانولوشن مبتنی بر منطقه سریع^۵ و یولو نسخه ۳ برای تشخیص اتومبیل‌ها از تصاویر هوایی استفاده کرده‌اند. آنها نتیجه گرفتند که شبکه یولو نسخه ۳ در دقت و زمان پردازش عملکرد بهتری نسبت به شبکه عصبی کانولوشن مبتنی بر منطقه سریع دارد [۱۵]. ترن در سال (۲۰۱۸) با استفاده از کنترل کننده تناسبی-مشتق‌گیر-انتگرالی^۶ کنترل یکپارچه حرکت کوادکوپتر پرداخته است. آنها برای به حداقل رساندن برای کنترل کوادکوپتر از الگوریتم ژنتیک جهت تعیین ضرایب کنترل کننده استفاده کردند. نتایج تست تجربی نشان داد عملکرد کوادکوپتر برای ردیابی و حرکت با استفاده از کنترل کننده طراحی شده

¹ algabri

² Ar Drone 2.0

³ Benjdira

⁴ CNN

⁵ Faster RCNN

⁶ huu khoa tran

⁷ PID

بسیار موثر و قابل اطمینان است [۱۶]. هان^۱ در سال (۲۰۱۹) جهت شمارش تعداد دام توسط کوادکوپتر از بینایی ماشین استفاده کرده است. الگوریتم طراحی شده دارای دقت متوسط بهتر از یولو نسخه ۳ بوده است [۱۷]. لی^۲ و همکاران در سال (۲۰۱۹) بر روی کنترل کوادکوپتر جهت بازرسی زنگ زدگی یا آسیب بدنه کشتی استفاده کرده است. در طراحی کنترل پرواز کوادکوپتر از کنترل کننده تناسبی-مشتق-گیر-انتگرالی و فازی استفاده کرده است. آنها برای شناسایی رنگ نقاط زنگ زده از دوربین پیکسی برای انجام پردازش تصویر و ردیابی تصویر استفاده کرده‌اند [۱۸]. سربینیان^۳ در سال (۲۰۲۱) یک ماشین کوهنوردی برای برداشتن نارگیل را ارائه داده است. برای شناسایی بلوغ نارگیل یک شبکه یولو نسخه ۳ با دقت ۹۹ درصد آموزش داده شده است تا بتواند به صورت بلادرنگ نارگیل رسیده را شناسایی و نقطه برش را تعیین کند. [۱۹] پاربخ^۴ و کامالاکوپار^۵ در سال (۲۰۱۸) در کشور آمریکا، به تعقیب هدف با استفاده از کوادکوپتر پرداخته شده است. در این مقاله به طراحی یک کنترل کننده پیش بین پرداخته‌اند که در صورتی که هدف از دید دوربین خارج شد با توجه به نوع پارامترهایی که در کنترل کننده دارند بتوانند هدف را تعقیب کنند [۲۰]. گووارا^۶ در سال (۲۰۱۸) در کشور آمریکا، به کنترل کوادکوپتر با فیدبک پردازش تصویر پرداخته است که با استفاده از تصاویر دریافتی در نقطه مشخص شده به صورت خودکار فرود آید. در این کوادکوپتر فقط از دوربین برای فیدبک گیری استفاده شده است [۲۱]. ربا^۷ و همکاران در سال (۲۰۱۹) در کشور کره جنوبی، الگوریتم‌های مختلف کنترل برای ردیابی هدف در حال حرکت با استفاده از دوربین ایجاد شده است. جهت ردیابی هدف متحرک یک کنترل کننده فازی برای تنظیم پارامترهای کنترل کننده تناسبی-انتگرالی با استفاده از موقعیت و تغییر داده‌های موقعیت به عنوان ورودی ایجاد شده است و برای تشخیص اینکه کدام یک عملکرد بهتری دارند، چندین آزمایش از کوادکوپتر با توجه به سرعت متغیر هدف در حال حرکت برای ردیابی هدف در حال حرکت انجام گرفته است [۲۲]. در سالهای (۲۰۱۸) و (۲۰۱۹)، کارهایی با موضوعات بسیار مشابه انجام شده است ولی در هیچ یک از کارهای خارجی از الگوریتم‌های یادگیری عمیق برای تشخیص و ردیابی بلادرنگ هدف استفاده نشده است. همانطور که در پژوهش‌های مشابه ذکر شد، در داخل کشور کاری مشابه با این پژوهش طراحی و ساخته نشده است. همچنین در داخل کشور اکثر کارهای انجام شده در زمینه تئوری و مدلسازی بوده است و کمتر پژوهشی اقدام به ساخت در کنار مدلسازی کرده است. اما در خارج کشور در سالهای (۲۰۱۹) و (۲۰۲۰)، کارهایی با موضوعات بسیار مشابه انجام شده است ولی در هیچ یک از کارهای خارجی از الگوریتم‌های یادگیری عمیق برای تشخیص و ردیابی بلادرنگ هدف استفاده نشده است. هدف از انجام این پژوهش طراحی الگوریتم یادگیری عمیق جهت تشخیص و تعقیب بلادرنگ هدف متحرک توسط کوادکوپتر می‌باشد. الگوریتم یادگیری عمیق پس از تشخیص هدف خطای فاصله و مساحت را محاسبه

¹ Han

² Lee

³ Subramanian

⁴ Parikh

⁵ Kamalapurkar

⁶ Guevarra

⁷ Rabah

کرده و برای کنترل کننده ارسال می کند. استراتژی کنترل در این پژوهش مبتنی بر محدود نمودن خطای فاصله بین کوادکوپتر و ربات زمینی در یک همسایگی صفر اخاذ می گردد و با صفر کردن خطای فاصله ربات هوایی، ربات زمینی را تعقیب می کند.

به این ترتیب در ادامه ی مقاله، در بخش (۲) به طراحی الگوریتم جهت شناسایی و تعقیب هدف و در بخش (۳) به ساخت و پیاده سازی تعقیب هدف متحرک پرداخته می شود. نتایج تست تجربی برای شناسایی و تعقیب نیز در این بخش ارائه شده است. در بخش (۴) به جمع بندی و نتیجه گیری پژوهش اختصاص داده شده است. برتری های روش پیشنهادی در این پژوهش نسبت به کارهای مشابه استفاده از الگوریتم یولو جهت تشخیص هدف متحرک به صورت بلادرنگ می باشد. این الگوریتم به صورتی آموزش داده شده است که بتواند هدف مشخص شده را در شرایط نوری، پس زمینه ای و زاویه ای متفاوت با دقت بالا تشخیص دهد و با ارسال پسخوراند به کنترل کننده ها شی هدف را تعقیب کند. از دیگر نوآوری های انجام گرفته در این پژوهش بررسی تاثیر هر کدام از حرکات کوادکوپتر بر روی خطاهای حاصل از تشخیص هدف است. این امر سبب تبدیل کنترل کننده چند ورودی - چند خروجی به ۴ کنترل کننده یک ورودی - یک خروجی شده است.

۲- الگوریتم تشخیص و تعقیب هدف متحرک

در شکل (۱) نمودار عملکردی سیستم تعقیب هدف متحرک نشان داده شده است. کوادکوپتر تصویر را از طریق وای فای به رایانه ارسال می کند. تصویر دریافت شده با استفاده از شبکه یولو جهت تشخیص هدف مورد پردازش قرار می گیرد. اگر هدف در تصویر باشد با مستطیل سبز رنگ مشخص می شود. در هدف پیدا شده مرکز مستطیل احاطه کننده و مساحت مستطیل استخراج می شود. با استفاده از مقادیر بدست آمده خطای فاصله عرضی، طولی و مساحتی محاسبه می شود و به عنوان ورودی به ۴ کنترل کننده تناسبی-مشتق گیر-انتگرالی داده می شود تا مقادیر ۴ حرکت جلو/عقب، چپ/راست، بالا/پایین و چرخش ساعتگرد/پادساعتگرد محاسبه شود. اگر هیچ هدفی در تصویر شناسایی نشود مقادیر حرکات ثابت می ماند و کوادکوپتر موقعیت خود را حفظ می کند تا هدف را شناسایی کند.

۲-۱- تشخیص اشیا

کوادکوپتر تلو با استفاده از دوربینی که در جلوی آن تعبیه شده تصویر را دریافت کرده و از طریق رابط وای فای به رایانه ارسال می کند. تصویر در رایانه به شبکه یولو که تصاویر هدف تعلیم یافته است منتقل می شود. الگوریتم یادگیری عمیق استفاده شده در این پژوهش بر اساس یک شبکه یولو است. معماری شبکه یولو از ۲۳ لایه کانولوشن پیچشی تشکیل شده است؛ هر کدام از این لایه ها، واحد نرمال سازی دسته ای^۱، تابع فعال سازی واحد خطی اصلاح شده نشستی^۲ و واحد حداکثر پولینگ^۳ مختص به خود را دارد. هدف لایه های تعریف شده، استخراج چندین ویژگی مهم از تصاویر دیجیتالی است تا از این طریق، سیستم تشخیص اشیا قادر باشد، اشیا مختلف

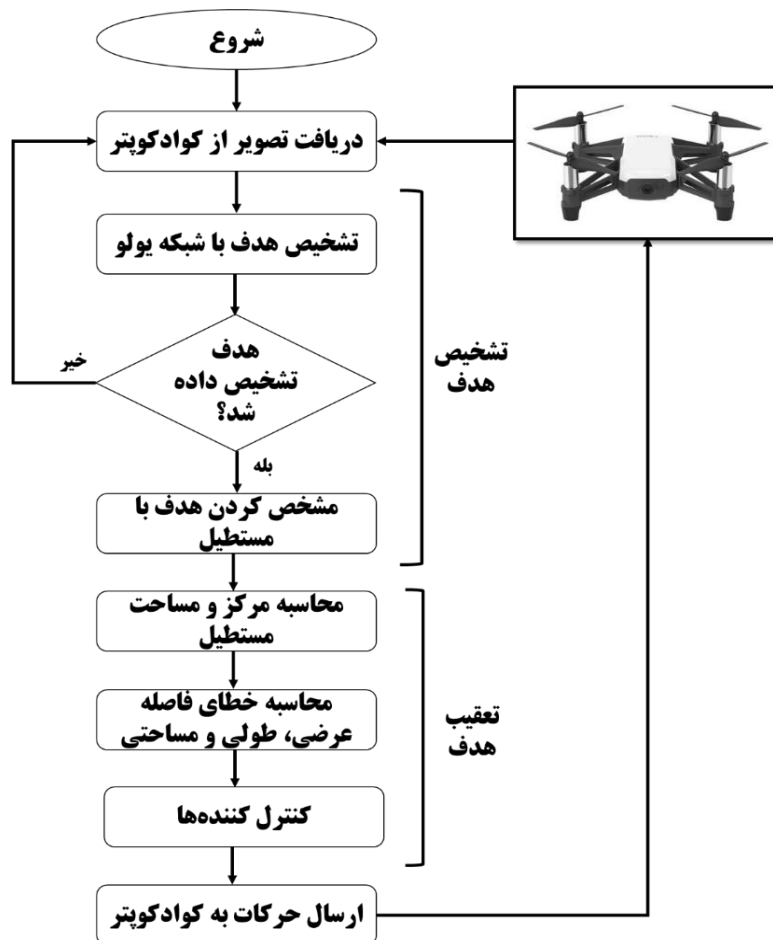
¹ Batch Normalization

² Leaky RELU

³ Pooling Max

موجود در تصویر را تشخیص دهد و آن‌ها در کلاس‌های متناظر دسته‌بندی کند. با هدف تشخیص اشیا موجود در تصویر، الگوریتم یولو تصویر را به یک گرید^۱ متشکل از سلول‌های 19×19 تقسیم‌بندی می‌کند؛ به ازاء هر سلول تشکیل شده در گرید، پنج کادر محصور کننده با ابعاد متفاوت تعریف می‌شود. سپس شبکه یولو تلاش می‌کند تا کلاس اشیا موجود در سلول‌های گریدی را تشخیص دهد؛ به عبارت دیگر، احتمال تعلق هر کدام از اشیا شناسایی شده به کلاس‌های موجود در مجموعه داده محاسبه می‌شود.

در این پژوهش شبکه یولو برای شناسایی یک کلاس واحد یک ربات زمینی آموزش دیده است. باید توجه داشت که این آموزش برای شناسایی یک هدف خاص انجام شده است. در این آموزش با استفاده تکنیک‌های مختلف برخی ویژگی‌های خاص استخراج می‌شود. ۲۰۰۰ عکس در شرایط نوری، زاویه‌ای و زمینه‌ای مختلف گرفته شده است. هر تصویر دارای هدف برجسب‌گذاری شده است. تصاویر به دو دسته آموزش و آزمایش تقسیم بندی می‌شوند. ۸۵ درصد تصویر برای داده‌های آموزشی و ۱۵ درصد از تصاویر برای آزمایش شبکه استفاده شده است. این شبکه برای ۶۰۰۰ بار حل در رایانه آموزش داده می‌شود. دقت بدست آمده از آموزش این شبکه ۹۹/۲ درصد است. دقت در این پژوهش به احتمال وجود شی در هر جعبه محدود اشاره دارد و به صورت زیر تعریف می‌شود.



شکل ۱- نمودار کلی سیستم تعقیب هدف متحرک

¹ Grid

$$avgPrecision = \sum_{k=1}^n P(k)\Delta r(k) \quad (1)$$

در معادله بالا $P(k)$ دقت در گام k و $r(k)$ به تغییر بعد از بازخوانی اشاره دارد. تابع دقت و بازخوانی در معادلات زیر نشان داده شده است.

$$\Delta r(k) = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

$$P(k) = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3)$$

در معادلات بالا FN ، TP و FP به ترتیب مخفف مثبت واقعی (تشخیص صحیح)، منفی کاذب (از دست دادن) و مثبت کاذب (تشخیص نادرست) است. از معادله زیر برای محاسبه میانگین خطا استفاده شده است.

$$Loss =$$

$$\begin{aligned} & \lambda_{coord} \sum_{i=0}^{s^2} \sum_{j=0}^A I_{ij}^{obj} \left[(b_{x_i} - b_{\hat{x}_i})^2 + (b_{y_i} - b_{\hat{y}_i})^2 \right] \\ & + \lambda_{coord} \sum_{i=0}^{s^2} \sum_{j=0}^A I_{ij}^{obj} \left[\left(\sqrt{b_{\omega_i}} - \sqrt{b_{\hat{\omega}_i}} \right)^2 \right. \\ & \left. + \left(\sqrt{b_{h_i}} - \sqrt{b_{\hat{h}_i}} \right)^2 \right] + \sum_{i=0}^{s^2} \sum_{j=0}^A I_{ij}^{obj} (C_i - \hat{C}_i)^2 \quad (4) \\ & + \lambda_{noobj} \sum_{i=0}^{s^2} \sum_{j=0}^A I_{ij}^{noobj} (C_i - \hat{C}_i)^2 \\ & + \sum_{i=0}^{s^2} I_i^{obj} \sum_{c \in classes} (p_i(c) - \hat{p}_i(c))^2. \end{aligned}$$

از معادله میانگین خطا یا ضرر برای اصلاح مرکز و جعبه احاطه کننده هر پیش بینی استفاده می‌شود. هر تصویر به یک شبکه $S \times S$ و جعبه‌های محدود کننده A برای هر شبکه تقسیم می‌شود. متغیرهای bx و by به مرکز هر پیش بینی اشاره می‌کند و bh و bw به ابعاد جعبه اشاره می‌کنند. متغیرهای obj و $noobj$ برای افزایش اهمیت بر جعبه‌های دارای اشیا و کاهش اهمیت بر جعبه‌های فاقد اشیا استفاده می‌شود. C به قابلیت اطمینان و $P(c)$ به پیش بینی طبقه بندی اشاره دارد. متغیر I_{ij}^{obj} برابر با یک است اگر جعبه محدود کننده i ام در سلول i ام هدف را پیش بینی کرده باشد، در غیر این صورت برابر صفر است. متغیر I_i^{obj} برابر یک است اگر جسم در سلول i باشد و در غیر این صورت برابر صفر است. تابع میانگین خطا عملکرد مدل را نشان می‌دهد و با افت کمتر نشان از عملکرد بهتر مدل است. نتایج تعلیم شبکه یولو به ازای میانگین خطا و میانگین دقت به ترتیب $۹۹/۱$ و $۰/۰۱$ بدست آمده است.

هنگامی که هدف در تصویر ارسالی توسط شبکه یولو شناسایی شد با استفاده از یک مستطیل مشخص می‌شود. این مستطیل احاطه کننده دارای اطلاعاتی درباره موقعیت جسم در تصویر است. با استفاده از مقادیر بدست آمده میتوان مرکز و مساحت مستطیل را محاسبه کرد. با استفاده از مقادیر که تشخیص هدف می‌دهد، میتوان مقدار وسط جعبه احاطه کننده را محاسبه کرد.

$$(x_0, y_0) = \left(\frac{x_{Min} + x_{Max}}{2}, \frac{y_{Min} + y_{Max}}{2} \right) \quad (5)$$

همچنین نقطه که باید ربات زمینی در تصویر در آن قرار بگیرد در معادله زیر نشان داده شده است.

$$(x_g, y_g) = \left(\frac{width_{img}}{2}, C_{correct} \frac{height_{img}}{2} \right) \quad (6)$$

$$(x_g, y_g) = (480, 288) \quad (7)$$

پس میتوان خطای عرضی، طولی و مساحتی را به صورت زیر محاسبه کرد.

$$e_x(t) = x_i - 480 \quad (8)$$

$$e_y(t) = y_i - 288 \quad (9)$$

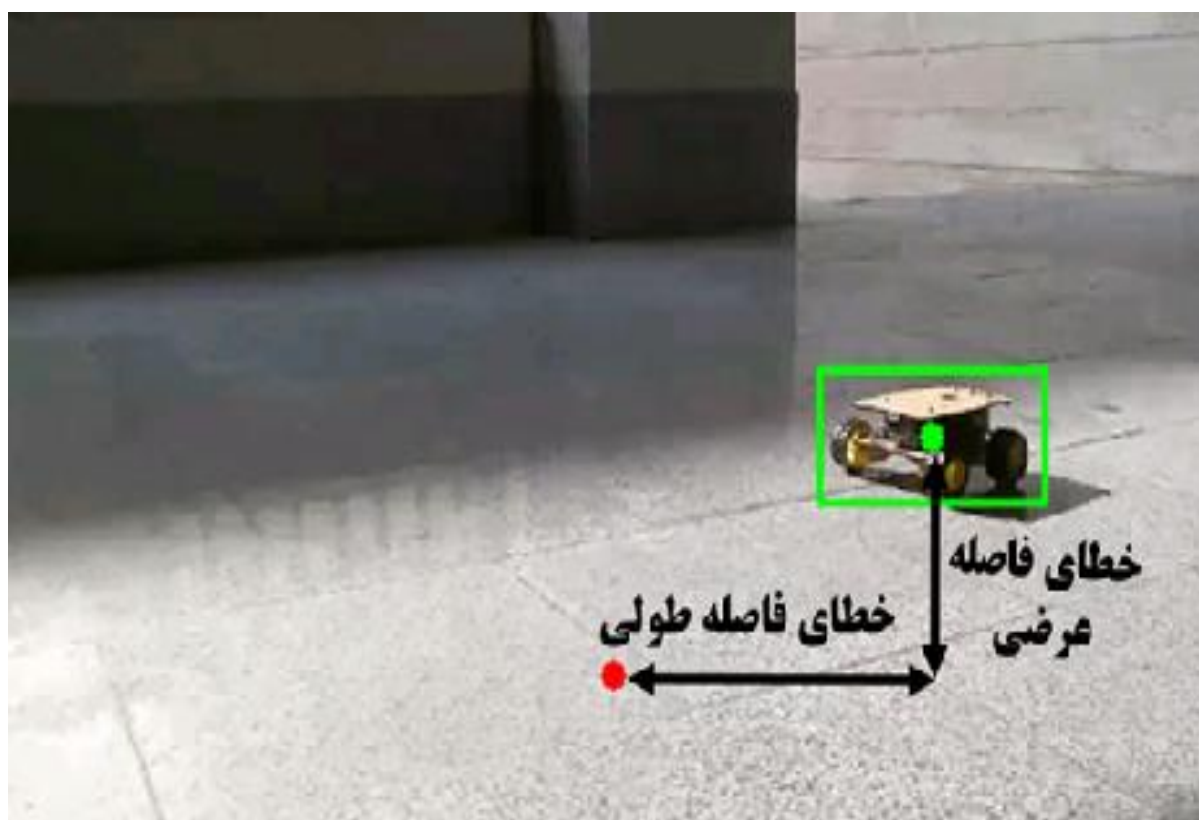
$$e_{area}(t) = w * h - 7000 \quad (10)$$

۲-۲- تعقیب هدف

در راستای تعقیب شی هدف متحرک باید ۳ وظیفه توسط کنترل کننده‌های کوادکوپتر اجرا شود. وظیفه اول، کوادکوپتر اجازه خروج شی هدف از ناحیه دید خود را ندهد. برای اینکه ربات زمینی از دید کوادکوپتر خارج نشود باید در نقطه به عرض ۸۰٪ عرض تصویر و ۵۰٪ طول تصویر باشد. یعنی همواره خطای فاصله پیکسل بین نقطه تشخیص و نقطه مشخص شده باید صفر باشد. برای صفر کردن خطای فاصله باید مقدار خطای فاصله روی محور طول و عرض صفر شود. در شکل (۲) نمونه ای از خطای فاصله تا نقطه مشخص شده تحت محور طول و عرض نشان داده شده است. یکی از وظایف کنترل کننده صفر کردن خطای فاصله مرکز شی هدف و نقطه مشخص شده است.

وظیفه دوم، کوادکوپتر همواره در یک فاصله ثابت از ربات زمینی باشد. این امکان وجود دارد که با افزایش ارتفاع کوادکوپتر بتواند در فاصله دوری از ربات زمینی قرار گیرد و در عین حال ربات زمینی در نقطه مورد نظر قرار داشته باشد. برای رفع این مشکل باید کنترل کننده ای جهت کنترل مساحت مستطیل احاطه شده در ربات زمینی ایجاد کرد. این کنترل کننده وظیفه دارد تا بتواند مساحت محصور کوادکوپتر را در مقدار معین قرار دهد تا مانع از فاصله گیری کوادکوپتر از ربات زمینی شود.

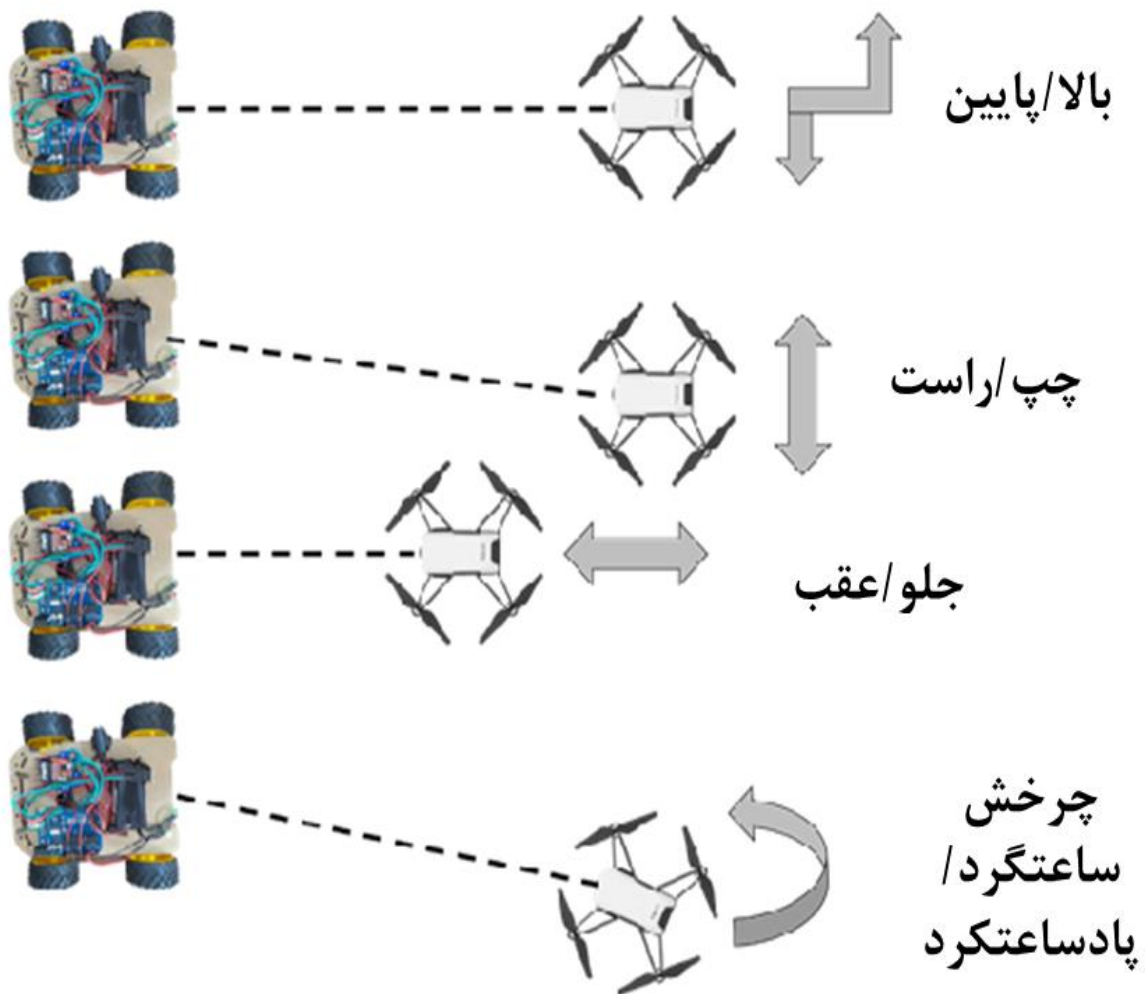
وظیفه سوم، کوادکوپتر باید همواره پشت ربات زمینی باشد. بعضی از کنترل کننده‌ها که ارائه شده است با ربات زمینی به چپ و راست میروند ولی در پیچ و چرخش مشکل دارند. یکی از وظایف کنترل کننده طراحی شده باید کنترل چرخش کوادکوپتر باشد تا در هنگام چرخش ربات زمینی کوادکوپتر با آن بچرخد و ربات زمینی را تعقیب کند.



شکل ۲- نمایش خطای فاصله عرضی و فاصله طولی

با توجه به وظایف توضیح داده شده سه خطای فاصله عرضی، طولی و مساحت وارد کنترل کننده می شود و مقادیر سرعت حرکت به سمت جلو/عقب، چپ/راست، بالا/پایین و چرخش به عنوان خروجی کنترل کننده هستند. در شکل (۳) حرکات اساسی کوادکوپتر تلو نشان داده شده است. معادله حالت برای کوادکوپتر بر حسب ورودی های کوادکوپتر به صورت زیر در نظر گرفته می شود که در آن ورودی معادله حالت ۴ حرکت کوادکوپتر است. متغیرهای حالت برای کوادکوپتر ۳ زاویه اویلر و خروجی مدل دینامیکی ۴ حرکت جلو/عقب، چپ/راست، بالا/پایین و چرخش ساعتگرد است. در معادله (۱۱) خروجی کوادکوپتر نسبت به ورودی های کنترلی نشان داده شده است.

$$\begin{bmatrix} UD \\ FB \\ LR \\ YW \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \\ T_{41} & T_{42} & T_{43} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_x \\ e_y \\ e_{area} \end{bmatrix} \quad (11)$$



شکل ۳- حرکات اساسی کوادکوپتر

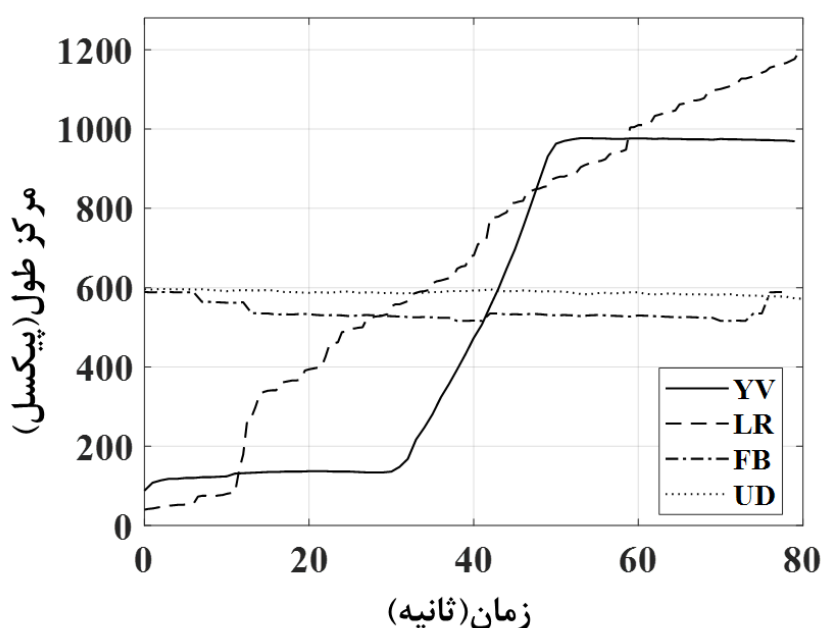
در معادله (۱۱) متغیرهای ورودی e_x ، e_y و e_{area} به ترتیب خطای طولی، خطای عرضی و خطای مساحتی است. همچنین متغیرهای خروجی UD ، FB ، LR و YW به ترتیب سرعت حرکت به سمت بالا/پایین، سرعت حرکت به سمت جلو/عقب، سرعت حرکت به سمت چپ/راست و سرعت چرخش می‌باشد. همانطور که از معادله (۱۱) برمی‌آید، سیستم کوادکوپتر برای تعقیب هدف متحرک یک سیستم چند ورودی چند خروجی است.

۲-۳- طراحی کنترل کننده

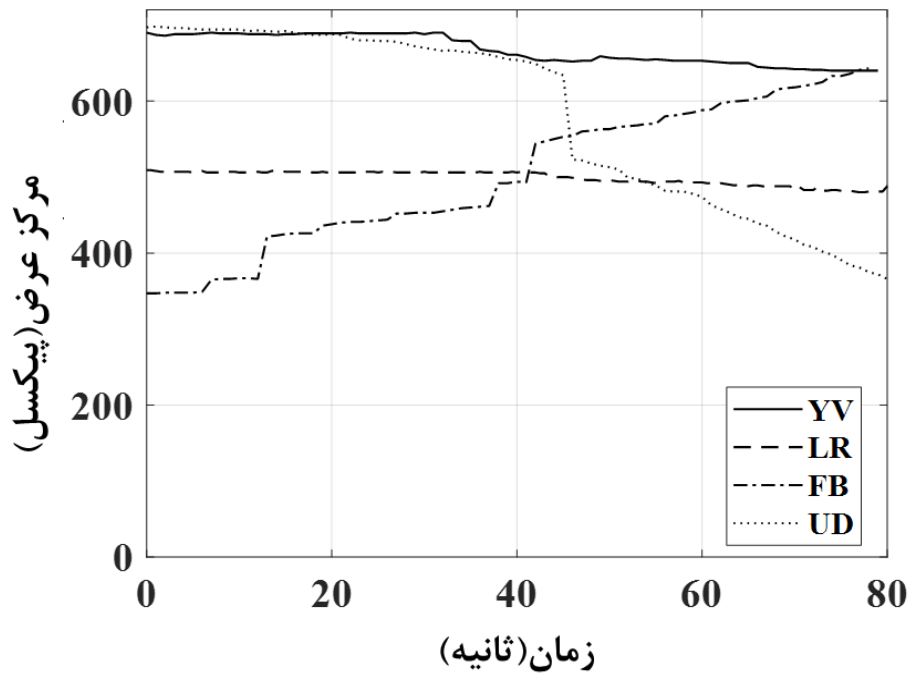
برای ساده‌سازی سیستم جهت کنترل و تعقیب هدف، سیستم چند ورودی چند خروجی با چند سیستم یک خروجی یک ورودی جایگزین می‌شود. این دو راهکار در جدول (۱) با یکدیگر مقایسه شده‌اند. جهت طراحی کنترل کننده‌ها ابتدا باید تاثیر هر یک از ۴ حرکت کوادکوپتر بر روی ۳ خطای عرضی، طولی و مساحتی مورد ارزیابی قرار گیرد تا مشخص شود که ورودی هر کدام از خروجی‌ها کدام خطا باشد تا تاثیر بیشتری بر عملکرد کوادکوپتر داشته باشد. در شکل (۴) تا شکل (۶) نمودارهای تاثیر هر یک حرکات کوادکوپتر بر روی خطاهای عرضی، طولی و مساحتی بدست آمده است.

جدول ۱- مقایسه دو راهکار ارائه شده برای کنترل و تعقیب هدف

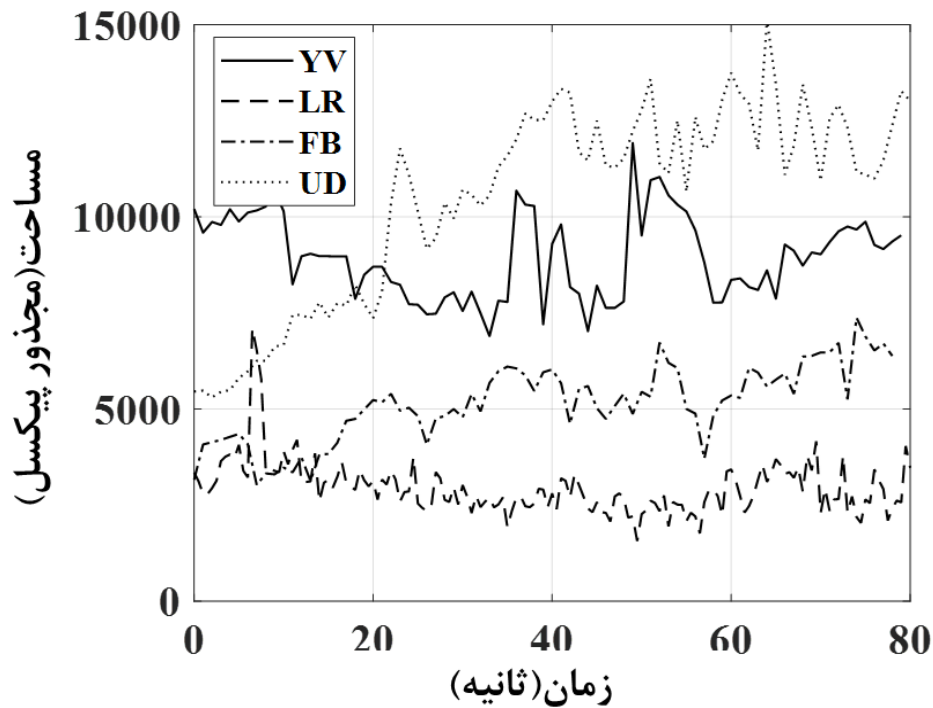
کنترل کننده یک ورودی یک خروجی	کنترل کننده ۴ ورودی ۴ خروجی
حذف تاثیر خطاها در دیگر کنترل کننده‌ها	تاثیر خطاها در همه کنترل کننده‌ها
طراحی ساده با تست تجربی	پیچیدگی در طراحی
استفاده از کنترل کننده تناسبی-انترگالی-مشتق گیر	استفاده از روش‌های غیرخطی برای طراحی کنترل کننده‌ها
عدم نیاز به مدل دینامیکی کوادکوپتر	نیاز به مدل دقیق دینامیکی کوادکوپتر



شکل ۴- تاثیر حرکت ۴ حرکت کوادکوپتر بر روی فاصله طولی



شکل ۵- تاثیر حرکت ۴ حرکت کوادکوپتر بر روی فاصله عرضی

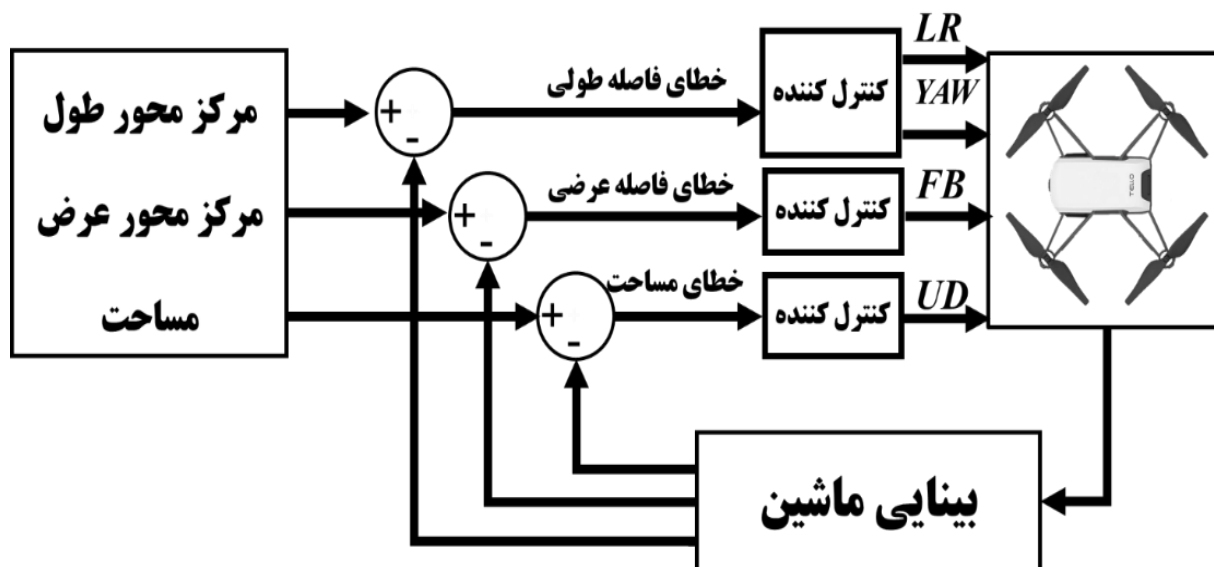


شکل ۶- تاثیر حرکت ۴ حرکت کوادکوپتر بر روی مساحت

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته می‌توان هر ورودی کنترلی و ورودی کوادکوپتر را به صورت جدول (۲) دسته بندی کرد.

جدول ۲- تاثیر حرکت کوادکوپتر بر روی ورودی کنترلی

ورودی کنترلی	حرکت کوادکوپتر
فاصله طولی	چپ/راست، چرخش ساعتگرد/پادساعتگرد
فاصله عرضی	بالا/پایین، جلو/عقب
مساحت	بالا/پایین، جلو/عقب



شکل ۷- بلوک دیاگرام کنترل کوادکوپتر تلو

$$\begin{bmatrix} UD \\ FB \\ LR \\ YW \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & T_{13} \\ 0 & T_{22} & 0 \\ T_{31} & 0 & 0 \\ T_{41} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_x \\ e_y \\ e_{area} \end{bmatrix} \quad (12)$$

با توجه به اینکه مساحت تاثیر بیشتری از حرکت بالا/پایین می‌گیرد از این حرکت برای کنترل کردن مساحت استفاده می‌شود و از حرکت جلو/عقب برای کنترل کردن فاصله عرضی استفاده می‌شود. همچنین برای کنترل فاصله طولی به صورت همزمان از حرکت چپ/راست و چرخش ساعتگرد/پادساعتگرد استفاده می‌شود. با توضیحات ارائه شده در خصوص ورودی‌های کنترلی و ورودی‌های کوادکوپتر میتوان بلوک دیاگرام کنترلی را به صورت شکل (۷) و معادله (۱۲) ارائه کرد.

ضرایب کنترل کننده تناسبی-مشتق‌گیر-انتگرالی که به صورت تجربی تنظیم شده است که منجر به صفر شدن ورودی کنترلی می‌شود. مزایای کنترل کننده تناسبی-مشتق‌گیر-انتگرالی ساختار کنترلی ساده و سهولت اجرا است. مقدار "خطا" در کنترل کننده تناسبی-مشتق‌گیر-انتگرالی، تفاوت بین متغیر اندازه‌گیری شده و نقطه تنظیم است. معادله کنترل کننده تناسبی-مشتق‌گیر-انتگرالی و خطای کنترلی در معادلات (۱۳) و (۱۴) نشان داده شده است.

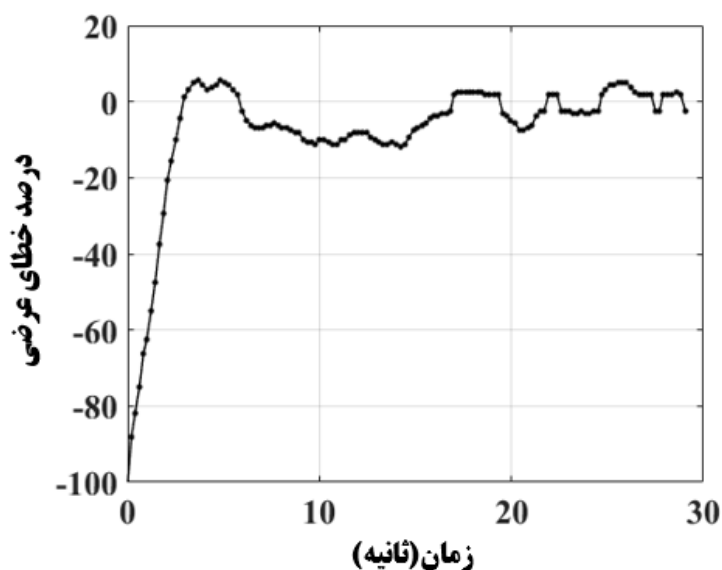
$$U(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (13)$$

$$e(t) = X_d(t) - X(t) \quad (14)$$

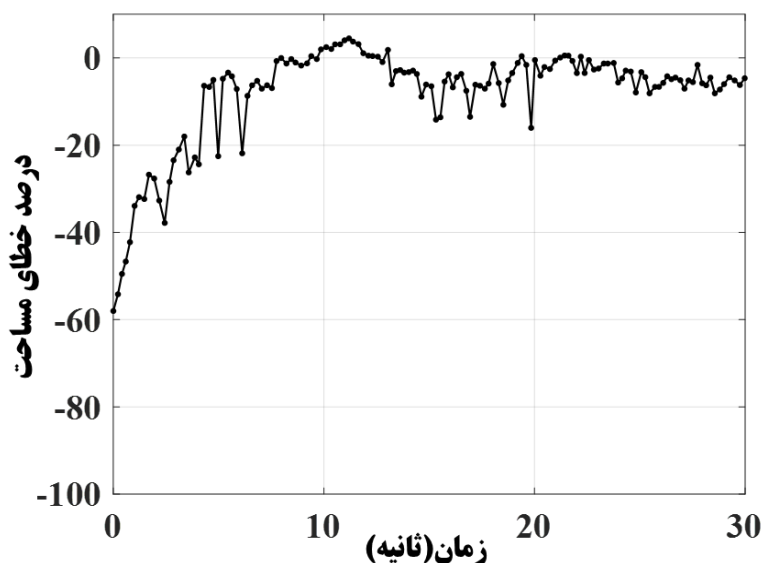
ضرایب کنترل کننده تناسبی-مشتق گیر-انتگرالی برای هر کدام از کنترل کننده‌ها در جدول (۳) ارائه شده است. همچنین در شکل (۸) تا شکل (۱۰) نحوه عملکرد کنترل کننده کوادکوپتر در بازه زمانی ۳۰ ثانیه نشان داده شده است. این نمودارها نشان از عملکرد صحیح کوادکوپتر از لحظه بلند شدن از زمین تا متمرکز شدن بر روی هدف را نشان می‌دهد.

جدول ۳- مقدار عددی ضرایب کنترل کننده برای ۴ حرکت کوادکوپتر

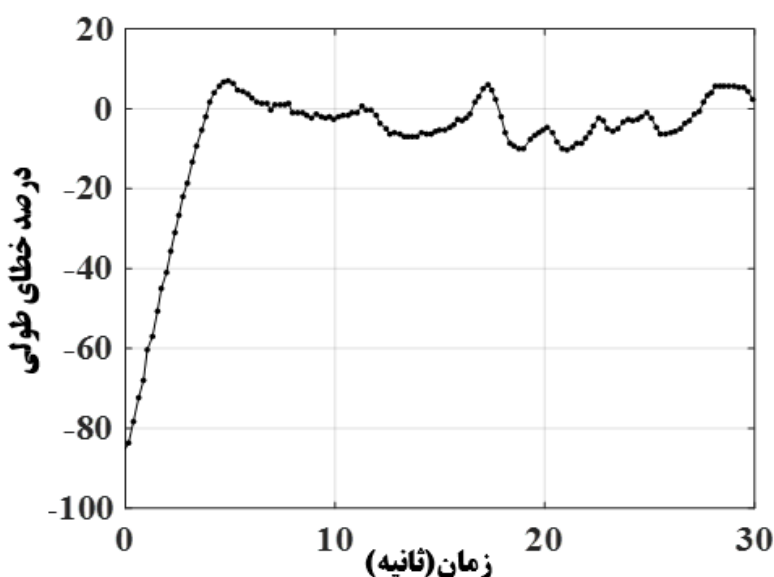
مقدار عددی	ضریب کنترل کننده	حرکت
۰/۲۲۵ ۰/۰۰۲ ۰/۰۴۵	ضریب تناسبی ضریب انتگرال گیر ضریب مشتق گیر	جلو/عقب
۰/۱۴۱ ۰/۰۲۵ ۰/۰۴	ضریب تناسبی ضریب انتگرال گیر ضریب مشتق گیر	چپ/راست
۰/۰۰۲ ۰/۰۰۰۱ ۰	ضریب تناسبی ضریب انتگرال گیر ضریب مشتق گیر	بالا/پایین
۰/۰۶ ۰/۰۱ ۰	ضریب تناسبی ضریب انتگرال گیر ضریب مشتق گیر	چرخش ساعتگرد/پادساعتگرد



شکل ۸- نمودار درصد خطای عرضی کنترل کننده حرکت جلو/عقب



شکل ۹- نمودار درصد خطای مساحت کنترل کننده حرکت بالا/پایین



شکل ۱۰- نمودار درصد خطای طولی کنترل کننده حرکت راست/چپ

۳- ساخت و پیاده‌سازی تعقیب هدف متحرک

در سامانه تعقیب هدف متحرک از کوادکوپتر تلو ساخت شرکت رایزتک^۱ استفاده شده است. این کوادکوپتر قادر است با استفاده از وای‌فای به رایانه متصل شود و تصاویر دریافتی را جهت پردازش به رایانه ارسال کند. در رایانه تصاویر دریافتی مورد پردازش قرار می‌گیرد و مقادیر ۴ حرکت به سمت جلو یا عقب، چپ یا راست، بالا یا پایین و چرخش ساعتگرد یا پادساعتگرد تعیین شده و به کوادکوپتر ارسال می‌شود. در شکل (۱۱) نمایی از کوادکوپتر تلو و تبادل اطلاعات با رایانه نشان داده شده است.

^۱ RYZE Tech



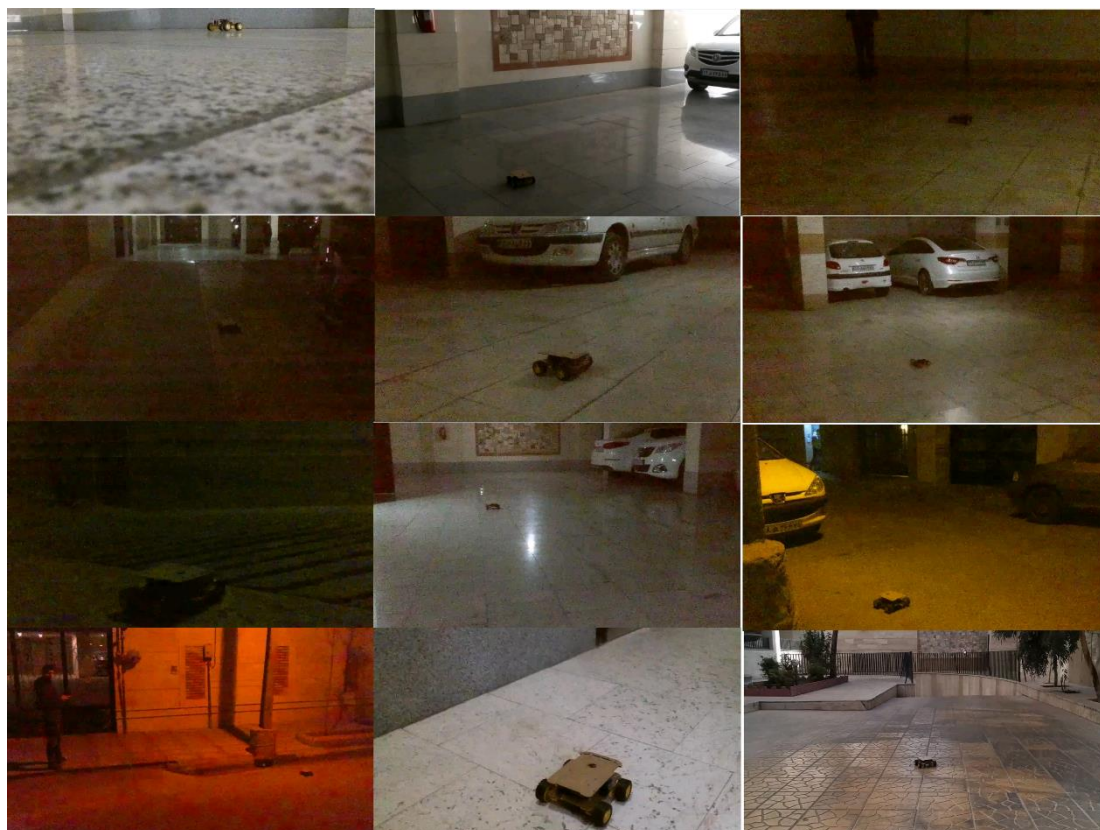
شکل ۱۱- نمایی از کوادکوپتر تلو و تبادل اطلاعات با رایانه



شکل ۱۲- نمایی از ربات زمینی و کنترل از راه دور آن

ربات زمینی به عنوان هدف متحرک با استفاده از کنترل از راه دور کنترل می‌شود. کنترل از راه دور جهت حرکت و سرعت ربات زمینی را تعیین کرده و به ربات زمینی ارسال می‌کند. همچنین در کنترل از راه دور چهار درجه سرعتی برای شی هدف در نظر گرفته شده است که عملکرد تعقیب ربات زمینی توسط کوادکوپتر را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در شکل (۱۲) نمایی از ربات زمینی و کنترل از راه دور آن نشان داده شده است. در این پژوهش از تکنیک‌های بینایی غیر فعال یا بینایی منفعل استفاده شده است این دسته از تکنیک‌های بینایی ماشین از آن جهت حائز اهمیت هستند که به صورت مخفیانه عمل می‌کنند و محیط را با انتشار صدا، نور و یا موج ناهنجار مختل نمی‌کنند. یکی از اهداف اصلی سیستم‌های بینایی ماشین، پیاده‌سازی سیستم‌های خودکار بازسازی صحنه و بازشناسی اشیاء است. در نتیجه، تحقیقات موجود در حوزه بینایی ماشین را می‌توان به سه دسته مطابقت دو سوئی، بازسازی صحنه و بازشناسی اشیاء تقسیم‌بندی کرد. در این پژوهش از بینایی ماشین به عنوان پسخوراند کوادکوپتر استفاده شده است. تصاویر با استفاده از دوربین کوادکوپتر دریافت شده و با ارتباط وای‌فای به رایانه منتقل می‌شود. رایانه با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون تصویر را دریافت کرده به شبکه یادگیری عمیق یولو تعلیم یافته می‌دهد و هدف متحرک توسط این الگوریتم یافت می‌شود. نور، زاویه ربات زمینی و زمینه کاری محیط تأثیرگذارترین عامل در بینایی ماشین می‌باشد. برای حذف تأثیرات مخرب از تعداد ۲۰۰۰ عکس برای تعلیم شبکه یولو استفاده شده است.

در شکل (۱۳) روند نمونه‌های تصاویر که برای تعلیم شبکه یولو نسخه ۳ استفاده شده، نشان داده شده است. با تکمیل روند شبکه یولو موقعیت هدف متحرک، مساحت مستطیل منطبق بر هدف و احتمال صحت آن را محاسبه می‌کند. برای افزایش اطمینان از صحت عملکرد الگوریتم یولو در تشخیص هدف فقط احتمالات بالای ۸۰ درصد مورد پذیرش است. در جدول (۴) مشخصات مورد استفاده جهت بینایی ماشین ارائه شده است.



شکل ۱۳- نمونه‌ای از تصاویر که برای آموزش شبکه یولو نسخه ۳ استفاده شده

جدول ۴- مشخصات سیستم مورد استفاده در پردازش شبکه یولو نسخه ۳

نام قطعه	جزئیات
پردازنده	Intel® Core™ i5-9400F CPU @ 2.900GHz
پردازنده گرافیکی	Gigabyte 1050Ti 4GB OC double Fan
رم رایانه	8 GB DDR4 2666MHz
نسخه پایتون	3.6.5
نسخه کودا	11.0.2
کتابخانه کودن	8.0.5
سیستم عامل	Windows 10 64x

۴- نتیجه گیری

برای پیاده سازی الگوریتم یادگیری عمیق مبتنی بر شبکه یولو به صورت بلادرنگ از هسته های کودا پردازنده گرافیکی برای افزایش سرعت محاسبات و کاهش زمان شناسایی هدف استفاده شده است. در پیاده سازی با سی پی یو سرعت محاسبات ۵ فریم بر ثانیه و زمان شناسایی ۲۰۰ میلی ثانیه است. در حالی که با استفاده از هسته های کودا پردازنده سرعت محاسبات به ۱۵ فریم بر ثانیه و زمان شناسایی تا ۶۰ میلی ثانیه کاهش می یابد. کاهش زمان شناسایی در شبکه یولو بسیار در کنترل کوادکوپتر تاثیر گذار است. تصویر در زمان ۱۰ میلی ثانیه از طریق وای فای به رایانه ارسال می شود و در ۴۰ میلی ثانیه در شبکه یولو پردازش می شود و در قالب یک تصویر با موقعیت هدف شناسایی شده به کاربر داده می شود. برای ارزیابی شناسایی هدف و عملکرد الگوریتم یولو ۴ معیار معرفی می شود:

(۱) معیار اول مساحت همپوشانی صحیح منطقه است. در زمینه تشخیص هدف همپوشانی صحیح منطقه به شباهت بین منطقه پیش بینی شده و منطقه صحیح شی هدف در تصویر گفته می شود. این معیار برای شبکه یولو آموزش داده شده ۹۹/۸ درصد است.

(۲) معیار دوم احتمال تشخیص صحیح هدف در تصویر است. این احتمال از نسبت تعداد تصاویری که درست تشخیص داده شده به کل تصاویر بدست می آید. این معیار برای شبکه یولو در اجزای بلادرنگ ۹۸/۵ درصد است.

(۳) معیار سوم دقت در تشخیص هدف در تصاویری که در آنها هدف موجود است. این احتمال از نسبت تعداد تصاویری که هدف در آن تشخیص داده شده به کل تصاویر که هدف در آن وجود دارد، بدست می آید. این معیار برای شبکه یولو ۹۹/۱ درصد است.

(۴) معیار چهارم سرعت محاسبات بر حسب فریم بر ثانیه است. این معیار برای شبکه یولو ۱۵ فریم بر ثانیه است.

با توجه به ۴ معیار معرفی شده میتوان نتیجه گرفت که شناسایی هدف با سرعت بالا و قدرت تشخیص بالا صورت می پذیرد.

نتایج بدست آمده از تعقیب هدف در شکل (۸) تا شکل (۱۰) ارائه شده است. در شکل (۸) پاسخ کوادکوپتر به صورت درصد خطای فاصله عرضی برای حرکت جلو/عقب نشان داده شده است. نمودار پس از یک تست ۳۰ ثانیه ترسیم شده است. با توجه به نمودار میتوان نتیجه گرفت که کوادکوپتر به دنبال شی هدف می رود و درصد خطای بین مقدار مرجع و مقدار فعلی موقعیت هدف شناسایی شده را به حداقل می رساند. در شکل (۹) پاسخ کوادکوپتر به صورت درصد خطای مساحتی نشان داده شده است. در این حالت کوادکوپتر سعی می کند با تنظیم خطای فاصله عرضی و مساحتی در فاصله معینی از کوادکوپتر قرار گیرد. در شکل (۱۰) خطای فاصله طولی با استفاده از دو حرکت ترکیبی چپ/راست و چرخش ساعتگرد/پادساعتگرد تنظیم می شود و مقدار فعلی به مقدار مرجع تمایل دارد. همچنین باید دقت داشت که حداقل ارتفاع یک متر برای کوادکوپتر ضروری است زیرا وقتی کوادکوپتر به زمین نزدیک می شود، نیروهایی به عنوان نیروی زمینی داخلی و خارجی بر بدنه

کوادکوپتر تاثیر می‌گذارد. این نیروها باعث اختلال در عملکرد کوادکوپتر می‌شود [۲۳]. تعقیب شی هدف برای صفر کردن ۳ خطای فاصله عرضی، طولی و مساحتی به خوبی کار می‌کند و در ۲۰ تست تجربی در محیط و شرایط نوری مختلف با میانگین دقت تشخیص ۹۸ درصد و تعقیب ۹۵ درصد به تعقیب هدف پرداخته است. برخی از مشکلات که در حین اجرای الگوریتم تشخیص و تعقیب ایجاد شد و مانع از کاهش زمان تعقیب شدند. زمان پاسخگویی کوادکوپتر تلو است که برای کنترل هر یک از ۴ حرکت حداقل ۱۰۰ میلی ثانیه برای تغییر مقدار حرکات نیاز دارد. به همین دلیل است که در نتایج کنترلی پاسخ کوادکوپتر به تغییرات اندکی کند است. اگرچه این مقدار در تست عملی مشاهده نمی‌شود. همچنین در هنگام اجرای بخش شناسایی ضعف‌هایی از شبکه یولو مشهود شد. این ضعف‌ها به سختی قابل تشخیص است و تأثیری در روند تعقیب هدف ندارد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت علمی و مالی دانشکده پرواز دانشگاه افسری امام علی (ع) انجام گرفته است.

مراجع

- [1] Krajník, T., Vonasek, V., Fiser, D., and Faigl, J., "AR-Drone as a Platform for Robotic Research and Education", Part of the Communications in Computer and Information Science Book Series, Springer, Berlin, Heidelberg, Vol. 161, pp. 172-186, (2015).
- [2] Cheng, H., Lin, L., Zhang, Z., and Yuwei, G., "An Autonomous Vision-based Target Tracking System for Rotorcraft Unmanned Aerial Vehicles", International Conference on Intelligent Robots and Systems (IEEE/RSJ), September 24-28, Vancouver, British Columbia, Canada, pp. 1732-1738, (2017).
- [3] Camargo, M.P.d., "Aerial Machine Vision, Geographical Information System and Hue for Pattern Classification in Agriculture", Master's Dissertation, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz Universidade de São Paulo, Piracicaba, (2018).
- [4] Liu, Y., Wang, Q., Hu, H., and He, Y., "A Novel Real-time Moving Target Tracking and Path Planning System for a Quadrotor UAV in Unknown Unstructured Outdoor Scenes", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, Vol. 49(11), pp. 2362-2372, (2018).
- [5] Padhy, R.P., Verma, S., Ahmad, S., Choudhury, S.K., and Kumar Sa, P., "Deep Neural Network for Autonomous UAV Navigation in Indoor Corridor Environments", Procedia Computer Science, Vol. 133, pp. 643-650, (2018).
- [6] Goh, G., Goh, G., and Zhong, Z., "Outdoor Autonomous Landing of a Quadcopter on a Moving Platform using Off-board Computer Vision", Journal of Modeling and Optimization, Vol. 11, No. 2, pp. 86-96, (2019).
- [7] Eyvazi Adli, S., Sharan, M., and Seyed Norani, M.R., "Position Control Based on Floating Quadcopter A.R.Drone 2.0 Vision using Fuzzy Logic", Journal of Electrical Engineering, University of Tabriz, Vol. 49, No. 2, pp. 709-720, (2019). (in Persian)

- [8] Zarei, M., and Mashidi, A., "Investigation of Object Recognition Methods using Image Processing Algorithms in Flying Robots", National Conference on New Research in Electrical Engineering, Computer and Information Technology, 19th July, Tehran, Iran, (2018). (in Persian)
- [9] Azad Zade, V., and Latif, A.M., "Classification of Features Extracted from Image Foreground and Background for Tracking of Aerial Moving Targets", Tabriz Journal of Electrical Engineering, Vol. 46, No. 3, pp. 1-11, (2016).
- [10] Bingxian, Mu., "Cooperative Control of a Quadrotor and a Mobile Robot", A Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy, University of Victoria, British Columbia, Canada, (2017).
- [11] Sutude Bahraini, M., and Taghirad, H., "Simultaneous Localization and Mapping of a Mobile Robot using Robust and Adaptive Filters in Dynamical Environments", PhD Thesis, Yazd University, Iran, (2017).
- [12] Rezaei Nam, N., Sharafi, S., and Farajian, N., "Track Moving Targets using a Maximum Learning Machine Strap", In National Conference on the Application of New Technologies in Science and Engineering, Electrical and Computer and IT, 7th March, Tehran, Iran, (2018). (in Persian)
- [13] Navab Zadeh, M.A., "Simulation of Robot Movement to Accurately Track a Moving Target Based on Artificial Intelligence", A Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy, Bahonar University, Iran, (2018).
- [14] Algabri, M., Mathkour, H., Amine, M., Mohamed, B., and Amer, M., "Wireless Vision-based Fuzzy Controllers for Moving Object Tracking using a Quadcopter", International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol. 13, No. 4, pp. 1-11, (2017).
- [15] Benjdira, B., Khursheed, T., Koubaa, A., and Amar, A., "Car Detection using Unmanned Aerial Vehicles: Comparison between Faster R-CNN and YOLOv3", 1st International Conference on Unmanned Vehicle Systems-Oman (UVS), February 5-7, Muscat, Oman, pp. 1-6, (2019).
- [16] Tran, H.K., and Nguyen, T.N., "Flight Motion Controller Design using Genetic Algorithm for a Quadcopter", Measurement and Control, Vol. 51, No. 3-4, pp. 59-64, (2018).
- [17] Han, L., Tao, P., and Martin, R.R., "Livestock Detection in Aerial Images using a Fully Convolutional Network", Computational Visual Media, Vol. 5, No. 2, pp. 221-228, (2019).
- [18] Lee, Y.-S., and Juang, J.-G., "Color Identification for Quadcopter Flight Control and Object Inspection", Advances in Mechanical Engineering, Vol. 11, No. 2, pp. 1-16, (2019).
- [19] Subramanian, P., and Sankar, T.S., "Development of a Novel Coconut-tree-climbing Machine for Harvesting", Mechanics Based Design of Structures and Machines, Vol. 1, No. 2, pp. 1-19, (2021).
- [20] Parikh, A., Kamalapurkar, R., and Dixon, W.E., "Target Tracking in the Presence of Intermittent Measurements via Motion Model Learning", IEEE Transactions on Robotics, Vol. 34, No. 3, pp. 805-819, (2018).

[21] Guevarra, G.E.C., Koizumi, Ilen R.T.S., Moreno, J.N.B., Reccion, J.C.B., Sy, C.M.O., and del Rosario, J.R.B, "Development of a Quadrotor with Vision-based Target Detection for Autonomous Landing", Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC), Vol. 10, No. 1, pp. 41-45, (2018).

[22] Rabah, M., Rohan, A., Mohamed, S., and Kim, S.H., "Autonomous Moving Target-tracking for a UAV Quadcopter Based on Fuzzy-PI", IEEE Access, Vol. 7, No.1, pp. 38407-38419, (2019).

[23] Talha, M., Asghar, F., and Rohan, A., "Fuzzy Logic-based Robust and Autonomous Safe Landing for UAV Quadcopter", Arabian Journal for Science and Engineering, Vol. 44, No. 3, pp. 2627-2639, (2019).

فهرست نمادهای انگلیسی

دقت در گام k	$P(k)$
تغییر بعد از بازخوانی	$R(K)$
مثبت واقعی	TP
منفی کاذب	FN
مثبت کاذب	FP
کمترین طول مستطیل احاطه کننده	X_{min}
بیشترین طول مستطیل احاطه کننده	X_{max}
کمترین عرض مستطیل احاطه کننده	Y_{min}
بیشترین عرض مستطیل احاطه کننده	Y_{max}
طول مرکز مستطیل احاطه کننده	X_0
عرض مرکز مستطیل احاطه کننده	Y_0
طول نقطه هدف	X_g
عرض نقطه هدف	Y_g
عرض تصویر	$Width_{img}$
ارتفاع تصویر	$Height_{img}$
ضریب تصحیح ارتفاع	$C_{correct}$
خطای طولی	e_x
خطای عرضی	e_y
خطای مساحتی	e_{area}
عرض مستطیل احاطه کننده	W

H	ارتفاع مستطیل احاطه کننده
Ud	حرکت بالا/پایین
FB	حرکت جلو/عقب
LR	حرکت راست/چپ
YW	چرخش ساعتگرد/پادساعتگرد
T	مشخصه تاثیر پذیری

Abstract

In this paper, artificial intelligence is applied for real-time object detection in Tello quadcopters. For this purpose, the YOLOv3 detection algorithm is employed. The results indicate that the YOLOv3 network can detect the target with above 95 percent accuracy at a speed of 15 frames-per-second for different ambient lighting and background conditions. After detecting the target, the errors are calculated and given to the control system to track the target in real-time. The designed controllers efficiently follow the target and prevent flying robots from losing sight of the target.