

طراحی و ساخت یک سامانه ارزان قیمت مبتنی بر پهپاد سنجش از دور به منظور پایش حیات وحش

میلاد میرزائی^۱، حسین عارفی^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا - دانشکده‌ی علوم و فنون نوین - دانشگاه تهران
milad.mirzaie@ut.ac.ir

^۲ استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
hossein.arefi@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت شهریور ۱۳۹۷، تاریخ تصویب بهمن ۱۳۹۷)

چکیده

در یک دهه‌ی اخیر، استفاده از تکنولوژی پهپاد مبتنی بر تکنیک‌های فتوگرامتری جهت اخذ تصاویر پوشش‌دار هوایی با کاربردهای متنوع نظیر پایش محیط زیست، نقشه‌برداری شهری، میراث فرهنگی، معدن و زمین شناسی گسترش یافته است. این امر در نتیجه‌ی دسترسی، هزینه‌ی پایین کاربری و اخذ داده‌ها توسط پهپادها می‌باشد. پهپادهای سنجش از دور با امکان پرواز در ارتفاع پایین و اخذ تصاویر با قدرت تفکیک طیفی و مکانی بالا، زمینه‌ی پایش جانوران را در مناطق صعب‌العبور فراهم می‌نمایند. با این حال پایش جانوران به دلیل عواملی نظیر هزینه بالای سنجنده‌های حرارتی و بررسی زمان‌بر هزاران تصویر اخذ شده جهت تشخیص جانوران، پرهزینه و وقت‌گیر می‌باشد. در این مقاله، هدف پایش جانوران با استفاده از تکنیک‌های فتوگرامتری و پردازش‌های آنی و خودکار تصاویر یک سامانه پهپاد است. بدین منظور یک سامانه پهپاد سنجش از دور ارزان قیمت مجهز به سنجنده‌های حرارتی و نور مرئی طراحی می‌شود تا علاوه بر بهبود مشکلات روش‌های سنتی در پایش جانوران، یک راه‌حل کاملاً خودکار، سریع و ارزان در پایش جانوران ارائه دهد. سامانه پیشنهادی شامل دو بخش سخت‌افزار و نرم‌افزار است. در بخش سخت‌افزار، یک سنجنده حرارتی و یک سنجنده نور مرئی به یک رایانه‌ی جانبی متصل و کنترل می‌شوند. از سوی دیگر، درگاه اطلاعاتی میان رایانه پرواز و رایانه‌ی جانبی برقرار شده تا اطلاعات واحد اندازه‌گیری اینرسیال و سنجنده موقعیت‌یاب جهانی هم‌زمان با اخذ تصاویر ثبت و به منظور پردازش آنی تصاویر استفاده شوند. در بخش نرم‌افزاری این سامانه، سنجنده‌ها با برنامه دقیق زمانی هر دو ثانیه یک برداشت انجام می‌دهند. سپس به منظور هم‌مرجع سازی تصاویر حرارتی و نور مرئی، از الگوریتم هیستوگرام تناسب فاز جهت‌دار ((Histogram of Oriented Phase Congruency (HOPC) استفاده می‌شود. در مرحله بعد، پس از حذف پوشش گیاهی و اعمال شاخص‌های تصویری مبتنی بر باند حرارتی و نور مرئی، تصاویر قطعه‌بندی شده و با اعمال حد‌آستانه بر روی ابعاد قطعات، قطعات مربوط به جانوران استخراج می‌شود. در نهایت با اعمال شرط هم خطی، موقعیت جانوران محاسبه شده و بر اساس نتایج حاصل شده، سامانه پیشنهادی قادر است ۸۳٪ جانوران موجود در تصویر را با دقت ۲/۱۷ متر برای موقعیت مکانی آنها شناسایی نماید.

واژگان کلیدی: پهپاد سنجش از دور، شناسایی و ردیابی جانداران، هم‌مرجع سازی، تلفیق تصویر، شرط هم خطی

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

۱-۱- پایش جانوران مبتنی بر پهپاد

منظور از پایش جانوران، تشخیص، ردیابی و شمارش آنها می‌باشد. بصورت سنتی از عکسبرداری کنترل‌ی، تله-های مبتنی بر تصویر، تگ‌گذاری جانوران، نصب ماژول‌های موقعیت‌یاب جهانی^۱، نمونه‌برداری دی‌ان‌ای^۲ و سگ‌های تعلیم دیده برای پایش استفاده می‌شود[۱]. پایش سنتی با چالش دسترسی به مناطق صعب‌العبور، حضور محققان در محیط‌های پر خطر، رفتار انسان‌گریز جانوران و اختفای آنها روبرو می‌باشد[۱]. گزینه‌ی دیگر، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد که با چالش‌های همچون وضوح کم، حضور پدیده‌های جوی، هزینه بالای تهیه این تصاویر و عدم امکان به روز رسانی سریع مکرر روبه‌رو است[۲][۳]. از هلیکوپتر و هواپیماهای سرنشین‌دار نیز در پایش جانوران استفاده می‌شود. اما هزینه‌ی عملیاتی گران بعلاوه‌ی خطر جانی سرنشین‌ها و عدم امکان برداشت سریع اطلاعات در لحظات مساعد آب و هوایی و مزاحمت بواسطه‌ی صدای زیاد از چالش‌های این روش می‌باشد[۴][۵][۶][۷]. از سوی دیگر، در یک دهه‌ی اخیر شاهد ظهور پهپادهای کوچک و قابل حمل در یک کیف دستی و در اشکال گوناگون می‌باشیم. این ابزار با قابلیت راه‌اندازی سریع و بهره‌وری بدون خطر جانی، امکان قرار-گیری در هر نقطه از آسمان بخصوص ارتفاع پایین‌تر از ابرها، تهیه انواع تصاویر هوایی با قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالا را فراهم کرده‌است[۱]. برای مثال، آهو، گوزن در سال ۲۰۱۶ [۴] فک‌های و پرندگان دریایی در سال ۲۰۱۷ [۶]. میمون، خفاش، لانه پرندگان و لاک‌پشت آبی در سال ۲۰۱۸ [۸][۹][۱۱][۱۱] تنها گزیده‌ای از مقالات انجام شده در پایش جانوران مبتنی بر پهپاد می‌باشد.

۱-۲- پایش خودکار جانوران

پهپادها با توجه به چالش‌های سایر روش‌های پایش، گزینه‌ای مناسبی برای پایش با بازدهی بالا و کاهش هزینه‌ها می‌باشند. اما چالش دیگر در پایش جانوران، هزینه و زمان بالا در شناسایی سوزدها با کمک نیروی

انسانی می‌باشد. پایش شامل برداشت دقیق با کمک سنجنده‌های گوناگون، به صورت مکرر و در طول بازه‌های زمانی طولانی در مناطق وسیع می‌باشد. این امر سبب تولید حجم بالایی از اطلاعات می‌شود. برای مثال بوندی و همکاران در سال ۲۰۱۸، زمان بازبینی ۶۰۰ ساعت فیلم هوایی را معادل ۸۰۰ ساعت کاری در طول ۶ ماه با هزینه-ی ۸۸۰۰ دلار بیان کرده‌اند[۱۲]. بدین ترتیب استفاده از مکان‌یابی، شمارش و ردیابی خودکار جانوران در پایش‌های بزرگ مانند مدیریت پارک‌های حفاظت شده از شکارچیان [۱۲]، پایش و مدیریت گاوداری‌های صنعتی [۱۳][۱۴][۱۵]، مقابله با بیماری‌های جانوران [۱۶]، الزامی است.

۱-۲-۱- الگوریتم‌های تشخیص جانوران

در دهه‌ی اخیر در بسیاری از مطالعات انجام شده با کمک پردازش تصویر و الگوریتم یادگیری جهت تشخیص خودکار جانوران مانند لووان و همکاران [۱۷] و ون و همکاران [۱۸] استفاده شده است. پردازش تصاویر در پهپاد، برخلاف دوربین‌های ثابت با چالش‌هایی همچون حرکت در جهات طول، عرض و ارتفاعی به دلیل تکان‌های پهپاد و پستی و بلندی زمین و همچنین تغییرات نور-پردازش، موانع بصری، تارشدگی، کشیدگی تصویر رو به رو است. بدین ترتیب استفاده از روش‌های معمول برای پردازش تصاویر پهپاد ممکن نیست. از دیگر چالش‌ها توانایی پردازش لحظه‌ای می‌باشد. برای مثال در مقابله با شکار و قاچاق جانوران دیرکرد چند دقیقه‌ای اطلاعات مرگبار می‌باشد. بنابراین داشتن اطلاعات لحظه‌ای حیاتی و نیازمند پردازش‌های سریع و کم‌هزینه می‌باشد[۱۹]. پردازش لحظه‌ای از دو روش، پردازش وابسته در بخش زمینی [۲۰][۲۱] و پردازش مستقل در بخش هوایی [۱۹] انجام می‌شود. بدین ترتیب چالش دیگر در روش وابسته نیاز به ارتباط مستمر با ایستگاه زمینی می‌باشد که پایش در مناطق وسیع را پر هزینه می‌سازد. در مطالعات انجام شده، روش‌های مبتنی بر شکل، رنگ و بافت مانند الگوریتم‌هایی مورفولوژی، تشخیص لبه، رشد ناحیه‌ای و جریان تصویر^۳ از الگوریتم‌های محبوب می‌باشند[۲۱].

^۱ GPS^۲ DNA^۳ Optical flow

۱-۲-۲- الگوریتم‌های ردیابی جانوران

روش‌هایی معمول چون RANSAC [۲۲]، SURF [۲۳] و SIFT [۲۴] به دلیل پردازش‌های طولانی غیر قابل استفاده هستند. در سوی دیگر، روش‌هایی چون لوکاس-کاناد [۲۵]، هورن-شاک، بوکستون-بوکستون مورد توجه بوده است [۲۶]. در سال‌های اخیر الگوریتم‌های یادگیری در تشخیص، ردیابی و طبقه‌بندی سوژه‌ها نیز موفق می‌باشند [۱۲][۱۴][۲۷]. اما از چالش‌های آن پیچیده‌گی و نیاز برای تهیه حجم بالایی از داده‌های آموزشی از شرایط گوناگون و همچنین هزینه‌ی بالای اجرای آن می‌باشد. اغلب از این روش در پردازش‌های وابسته و غیر لحظه‌ای استفاده شده است [۱۹][۲۸].

۱-۳-۳- سنجنده‌های در پایش جانوران

در حوزه‌ی پایش جانوران اغلب از سه باند نور مرئی، مادون قرمز و حرارتی استفاده شده است [۲۹].

۱-۳-۱- سنجنده‌ی اپتیکی

دوربین‌های نورمرئی بسیار ارزان قیمت می‌باشد. در سال ۲۰۰۵ عبدالرحمان و همکاران از اولین محققانی بودند که با بکارگیری الگوریتم و پردازش تصاویر نورمرئی در جهت سهولت، تسریع و دقت بالاتر در پایش جانوران، به تشخیص و ردیابی پرندگان دست یافتند [۳۰]. همچنین فنگ و همکاران در سال ۲۰۱۶ با استفاده تصاویر ویدیویی اقدام به ردیابی جانوران کرده‌اند [۳۱]. چالش اصلی در استفاده از این سنجنده نیاز به نورپردازی مناسب و مقابله اختفای جانوران در سایه‌ها، علفزارها می‌باشد. همچنین نور مرئی ثبت شده در تصویر همان نور بازتاب شده از یک منبع واحد مانند خورشید می‌باشد. بنابراین وجود تشابه روشنایی و گاه رنگ برای سوژه و محیط پس زمینه، پردازش را مشکل می‌سازد [۱۴]. در نتیجه پایش دقیق مبتنی بر نور مرئی دشوار و ملزم به استفاده از تصاویر حجم بالا می‌باشد [۱۲].

۱-۳-۲- سنجنده‌ی حرارتی و مادون قرمز

سنجنده‌های حرارتی با ثبت حرارت ساتع شده از جانوران و محیط پس‌زمینه، بدون نیاز به نور کافی و کنتراست رنگی و با تکیه بر اختلاف دمایی تشخیص

خودکار را آسان‌تر می‌کند. به همین دلیل در غالب تحقیقات انجام شده با وجود موانع طبیعی، نیاز به برداشت در طول شب و افزایش راندمان تشخیص، از سنجنده‌ی حرارتی و فروسرخ استفاده شده است [۳۲][۳۳]. برای مثال گونزالس و همکاران (۲۰۱۶) در پایش کوالاها [۲۰]، عزرائیل و همکاران در پایش لانه پرندگان (۲۰۱۷) [۳۴] و همچنین در پایش میمون‌ها، خفاش‌ها توسط [۹] و [۱۰] در سال ۲۰۱۸ از سنجنده‌ی حرارتی استفاده شده است. خصوصیت رادیومتریک، امکان محاسبه دمای اجسام را از راه دور و بدون تماس ممکن می‌سازد [۳۵]. برای مثال رین-واتر و همکاران در سال ۲۰۰۹ به تشخیص بیماری‌های سم، دهان گاو با استفاده از اطلاعات این سنسور پرداختند [۳۶]. از معایب سنجنده‌های حرارتی می‌توان به هزینه بالا و ممنوعیت فروش آن در وضوح بالای ۶۴۰ پیکسل طولی، به دلیل استفاده‌ی دوگانه‌ی نظامی اشاره کرد.

۱-۳-۳- سنجنده‌ی چندطیفی

این سنجنده به طور همزمان قابلیت ثبت باندهای مرئی، مادون قرمز و حرارتی داشته و امکان بهره‌گیری از ویژگی یکایک و ترکیبی طیف‌ها را در قالب نرمال سازی و اندیس‌ها محیا می‌سازد. از معایب این سنجنده، قیمت آن و کیفیت پایین تفکیک پیکسلی می‌باشد که تنها در مواردی معدود برای پایش جانوران استفاده شده است [۳۷].

۲- طراحی سامانه پایش جانوران

در این مقاله، هدف اصلی طراحی یک سامانه ارزان قیمت سنجش از دور مبتنی بر پهپاد و مجهز به پردازش خودکار و آنی تصاویر به منظور تشخیص و ردیابی جانوران می‌باشد. در طراحی این سامانه، پارامترهای اساسی شامل ارتفاع پروازی، سرعت پرواز، میزان هم پوشانی تصاویر در جهات طولی و عرضی، برنامه ریزی مسیر پرواز می‌باشد. همچنین در انتخاب تجهیزات تصویربرداری، پارامترهای مهم شامل میزان تفکیک پذیری پیکسلی، زاویه دید، سرعت شاتر، فاصله‌ی کانونی و فاصله زمانی بین دو فریم متوالی می‌باشد. نکته حائز اهمیت در این مطالعه انتخاب پارامترها ضمن مقایسه کارایی و کیفیت در مقابل هزینه می‌باشد [۳۸].

۲-۱- طراحی محموله‌ی سنجش از دور

یکی از پارامتر مهم در انتخاب تجهیزات، تفکیک پذیری پیکسلی (p) می‌باشد. این پارامتر نقش تعیین کننده‌ای در کیفیت و هزینه سنجنده‌ها، بخصوص سنجنده‌ی حرارتی دارد. این متغیر از طول هر پیکسل از تصویر برداشت شده بروی زمین^۱ (GSD)، زاویه دید سنجنده^۲ (θ) و ارتفاع پرواز (h) محاسبه می‌شود [۳۹].

$$p = \frac{2h \times \tan(\frac{\theta}{2})}{GSD} \quad (۱)$$

انتخاب ارتفاع از دیگر پارامترهای مهم در طراحی پرواز می‌باشد. همانطور که بیان شد با ثابت فرض کردن باقی متغیرها، کاهش ارتفاع سبب افزایش دقت و سبب کاهش مساحت برداشت شده می‌شود. بنابراین جهت مدیریت هزینه می‌توان با صرف نظر از وسعت پوشش و انتخاب ارتفاع کمینه از موانع حاضر مانند درختان، سبب کاهش نیاز به وضوح بالای تصویر، ضمن حفظ کیفیت برداشت شد. این امر سبب کاهش چشمگیر هزینه‌ی سامانه‌ی پایش جانوران می‌شود. از سوی دیگر انتخاب دقت برداشت کمتر نیز سبب کاهش وضوح تصویر مورد نیاز برداشت می‌شود. بر اساس نظریه نایکویست، کوچک‌ترین سوژه مورد نظر می‌بایست حداقل توسط دو پیکسل از سنجنده قرائت شود. بنابراین به منظور پایش جانوران در اندازه‌ی ۰/۶ متر و بزرگتر (GSD) برابر ۰/۳ متر انتخاب می‌شود [۴۰][۴۱][۴۲]. زاویه دید بهینه (θ_1)، نشان‌دهنده‌ی کوچک‌ترین و کارآمدترین زاویه دید از رابطه‌ی ۲ متناسب با اندازه‌ی جانور (l) و ارتفاع موانع بصری (h_{tree}) برای مثال درختان محاسبه می‌شود [۳۹].

$$\theta_1 = 2 \arctan(\frac{p \times l}{4h_{tree}}) \quad (۲)$$

با توجه به زمان محدود پرواز، تصویر برداری در حین حرکت انجام شده و وجود کشیدگی از چالش‌های تصاویر پهپاد می‌باشد. با استفاده رابطه‌ی زیر از حداقل سرعت شاتر (s) از حداکثر تعداد پیکسل کشیده شده (p_{error})، سرعت پهپاد (v)، و طول هر پیکسل از تصویر برداشت شده بروی زمین (GSD) محاسبه می‌شود [۳۸].

$$s < \frac{GSD \times p_{error}}{v} \quad (۳)$$

برای اطمینان از ثبات مقیاس تصویر، فاصله کانونی ثابت و بی نهایت تنظیم می‌شود تا تمامی سطح‌ها در عکس به وضوح دیده شوند [۲۰]. همچنین فاصله زمانی فریم‌های متوالی (t) از رابطه‌ی ۴ بدست می‌آید در این رابطه (p_H) تفکیک پذیری پیکسلی در جهت حرکت پهپاد و (μ) نسبت همپوشانی تصویر می‌باشد [۳۸].

$$t < \frac{GSD \times p_H \times (1 - \mu)}{v} \quad (۴)$$

از دیگر پارامترها می‌توان به ایزو^۳ و اندازه‌ی روزنه^۴ نیز اشاره کرد که در کیفیت و نویز تصویر نقش مهمی دارند. در انتخاب سنجنده‌ی اپتیکی و حرارتی از پارامترهای ذکر شده، استفاده می‌شود. علاوه بر پارامترهای ذکر شده، بازه‌ی دمایی، حساسیت دمایی و خطای برداشت در انتخاب سنجنده‌ی حرارتی مهم می‌باشند که متناسب با دمای سوژه‌ها انتخاب می‌شوند. همچنین ارائه‌ی اطلاعات کالیبراسیون رادیومتری نیز اهمیت دارد. با کمک این اطلاعات دمای سطوح بدون تماس فیزیکی خوانده می‌شود. اما وجود اطلاعات رادیومتری یا تفکیک پذیری پیکسلی بالا، سبب تشدید قیمت نهایی این سنجنده می‌شود. در انتخاب سنجنده‌های اپتیکی با تنوع گسترده‌ای روبه‌رو هستیم اما سنجنده‌های حرارتی کوچک و سبک وزن تنها در مدل‌هایی محدود توسط شرکت FLIR تولید شده و باقی‌برند و مدل‌ها تنها به بهبود عملکرد محصولات این شرکت پرداخته‌اند. جدول ۱ به مقایسه انواع مدل سنجنده‌های حرارتی مبتنی بر پهپاد پرداخته است.

جدول ۱- سنجنده‌های مورد استفاده در پایش جانوران

مشخصات سنجنده حرارتی			
FLIR			مدل
XT / TAU / VUE / DUO / ...		Lepton	
۶۴۰	۳۳۶	۸۰	تفکیک پیکسلی
۵۷	۴۵	۲۵	زاویه دید
۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱۱	زمان شاتر
✓	✓	×	رادیومتری
4850\$	3350\$	289\$	قیمت
[۳۹][۲۰]	[۳۵]	[۴۳]	مرجع

^۳ ISO^۴ Aperture^۱ Ground Sample Distance^۲ Field of view

۳-۲- ساختار نرم افزاری

ساختار نرم افزاری، دارای سه بخش راه اندازی و اخذ داده ها، هم مرجع سازی خودکار تصاویر حرارتی و نور مرئی و تشخیص و ردیابی خودکار جانوران است. این الگوریتم ها در محیط برنامه ی C++ و Python پیاده سازی شده و بروی رایانه جانبی پهباد، در حین پرواز اجرا می شود.

۲-۳-۱- راه اندازی و اخذ داده ها

با هم زمان سازی عملکرد سنجنده های ناوبری و سنجنده های حرارتی و اپتیکی، تصاویر به همراه اطلاعات مکانی با فواصل زمانی ثابت به صورت هم زمان ثبت می شوند. طبق شکل ۲ مراحل اخذ داده ها شامل چهار مرحله می باشد که عبارت است از: الف) اتصال به درگاه سنجنده ها و رایانه ی پرواز، ب) وقفه ی دو ثانیه ای جهت تثبیت داده ها، ج) ثبت داده های خام، د) فرمت و ذخیره فایل ها و تکرار مراحل (ج) و (د) در یک حلقه می باشد.

۲-۳-۲- هم مرجع سازی خودکار

با استفاده از الگوریتم هیستوگرام تناسب فاز جهت دار، نقاط متناظر بین تصاویر حرارتی و مرئی استخراج شده و بر اساس آنها، هم مرجع سازی انجام می شود. به دلیل وجود عواملی نظیر اختلاف غیر خطی رادیومتریکی، تغییرات وضوح پیکسلی، نور پردازی، بافت و سایه ها در تصاویر اخذ شده حرارتی و مرئی، روش های مبتنی بر گرادیان کارایی لازم را برای هم مرجع سازی ندارند، در حالیکه روش HOPC پایداری زیادی نسبت به این عوامل دارد. در این روش، با تکیه بر تشابه ساختاری و شکلی، اطلاعات فرکانس در تصویر با استفاده از فیلترهای چند مقیاسی در جهات مختلف، از رابطه ۵ محاسبه می شود.

$$PC(x, y) = \frac{\sum_n \sum_o W_o(x, y) [A_{no(x, y)} \Delta \Phi_{no}(x, y) - T]}{\sum_o \sum_n A_{no}(x, y) + \varepsilon} \quad (5)$$

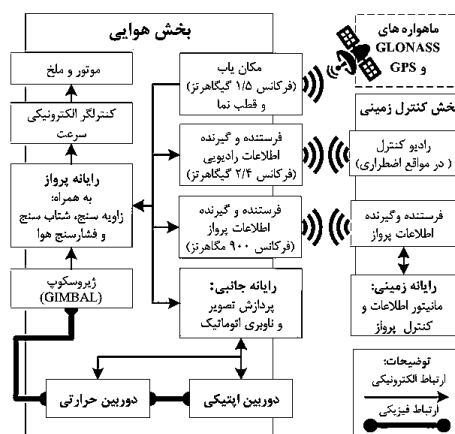
در رابطه فوق، x, y مختصات هر نقطه از تصویر می باشد و $P(x, y)$ میزان تناسب فاز را نشان می دهد. $W(x, y)$ فاکتور وزن بر اساس بسط فرکانس، A_{no} و $\Delta \Phi_{no}$ نیز به ترتیب دامنه و فاز در مقیاس nm می باشند. در این الگوریتم، تصویر به تعداد مشخصی بلوک و سلول دارای هم پوشانی،

^ Histogram of Orientated Phase Congruency (HOPC)

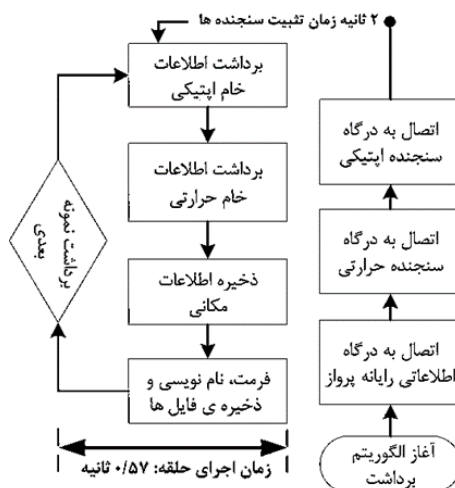
در طراحی محموله ی سنجنش از دور استفاده از لرزش گیر برای مقابله با انواع لرزش و تکان ها در جهات مختلف الزامی می باشد. عموماً لرزشگیر یا تثبیت کننده زاویه (ژیروسکوپ) برای یکسان سازی زاویه تصویر در زاویه دلخواه می باشد. نکته مهم استفاده از گین بالا جهت اصلاح آنی زاویه بدون وقفه زمانی و برداشت در طول پرواز و رفع لرزش ها می باشد.

۲-۲- ساختار پهباد سنجنش از دور

این سامانه مطابق شکل ۱ شامل دو بخش هوایی و کنترل زمینی می باشد. در بخش هوایی، بدنه یا سازه دربرگیرنده قطعات، ارتعاشات و وزن را در مانورها و شتاب تحمل می کند. زیرسیستم ناوبری، شامل رایانه پرواز، سنسورهای شتاب، زاویه، ارتفاع، جهت و موقعیت مکانی می باشد که هدایت و کنترل پهباد را بر عهده دارند. زیرسیستم پیشرانش شامل مجموعه ی موتور، ملخ و باتری می باشد که در ارتباط مستقیم با رایانه مرکزی، پرواز را ممکن می کند. زیرسیستم ارتباط رادیویی جهت انتقال داده و کنترل دستی توسط ایستگاه زمینی می باشد.



شکل ۱- ساختار سخت افزاری سامانه ی پایش جانوران



شکل ۲- ساختار الگوریتم اخذ و ثبت تصاویر

تقسیم می‌شود. سپس در هر سلول، هیستوگرام تناسب فاز جهت‌دار محاسبه و وزن‌دهی می‌شوند. سپس نمودار هیستوگرام برای هر سلول در هر بلوک با نرم L2 نرمال-سازی می‌شود. این عملیات جهت کاهش حساسیت به نور و سایه می‌باشد. در انتها از روش تطابق الگو برای یافتن نقاط متناظر استفاده می‌شود [۴۴][۴۵].

۲-۳-۳- الگوریتم تشخیص خودکار جانوران

ورودی این پردازش شامل تصاویر حرارتی، مرئی و اطلاعات مکانی و زوایای ثبت تصویر است. در بخش اول، بر روی تصویر حرارتی، به ترتیب پردازش‌های کاهش نویز بر اساس فیلتر میانه، عملگر تشخیص لبه کنی^۱ و سپس عملگرهای موفولوژی جهت بهبود خطوط تشکیل شده، اعمال می‌شود. در انتها با الگوریتم رشد ناحیه‌ای موسوم به Flood-fill، قطعات اولیه ایجاد شده و خروجی تحت عنوان THM1 ذخیره می‌شود. در بخش دوم، به منظور جداسازی نقاط گرم‌تر محیط از پس‌زمینه با یک حد‌آستانه مشخص، تصویر حرارتی، آستانه‌گذاری می‌شود. بدین منظور ابتدا بیش از ۱۵۰ نمونه جفت تصاویر حرارتی و مرئی در مناطق و شرایط آب‌وهوایی گوناگون در طول ۶ ماه برداشت و انتخاب شد. سپس با آزمون تصاویر حرارتی نمونه، حد میانگین ۶۰٪ الی ۱۰۰٪ استفاده شد. بدین ترتیب بخش جدا شده تحت عنوان THM2 ذخیره می‌شود. در بخش سوم، در راستای حذف پوشش گیاهی از شاخصی سربیزی^۲ موسوم به EXG^۳ طبق رابطه‌ی ۶ استفاده می‌شود.

$$EXG = 2g - (r + b): \quad (6)$$

$$r = \frac{R}{R+G+B}, g = \frac{G}{R+G+B}, b = \frac{B}{R+G+B}$$

در رابطه فوق، R باند قرمز، G باند سبز و B باند آبی می‌باشد. این شاخص در جداسازی پوشش گیاهی نسبت به شرایط متفاوت نور پردازی و سایه مقاوم می‌باشد. حد آستانه نیز با آزمون بیش از ۱۵۰ نمونه تصویر مرئی هوایی انتخاب شده، معادل صفر الی ۲۳٪ تعیین می‌شود [۴۶]. بدین ترتیب پوشش گیاهی حذف شده و خروجی آن تحت عنوان RGB ذخیره می‌شود. در بخش چهارم، بین قسمت-های گرم تصویر و قسمت‌های فاقد پوشش گیاهی و قطعات تولید شده در تصاویر تحت عنوان THM2، RGB

و THM1 اشتراک گرفته می‌شود. سپس برای بهبود کیفیت تصاویر از عملگرهای موفولوژی استفاده می‌شود. در بخش پنجم، اطلاعات قطعات متصل در یک لیست جمع‌آوری شده و بر اساس ابعاد و نسبت طول به عرض طبیعی [۴۲] آستانه‌گذاری می‌شوند. در بخش ششم، موقعیت سوژه‌ها تخمین زده شده و سوژه‌ها با شرط پیوستگی مکانی ذخیره می‌شوند [۲۰].

۲-۳-۴- تخمین موقعیت جانوران

با برقراری معادله شرط هم خطی^۴، موقعیت جانوران در سیستم مختصات جهانی محاسبه می‌شود. بدین منظور، مختصات جانوران در تصویر، (x, y) از رابطه‌ی ۷ محاسبه شده سپس ضرایب معادله شرط هم خطی، (a_i, b_i, c_i) از رابطه‌ی ۸ محاسبه می‌شود.

$$x = (x_A - \frac{w_P}{2}) \times (\frac{w_L}{w_P}) \quad (7)$$

$$y = (-y_A + \frac{h_P}{2}) \times (\frac{h_L}{h_P})$$

در رابطه فوق، w و h ابعاد تصویر، اندیس P نماینده طول و عرض پیکسلی و اندیس L نماینده طول و عرض در واحد متر می‌باشد. در نهایت با برقراری معادله شرط هم خطی طبق رابطه ۸ و ۹ موقعیت جهانی جانوران محاسبه می‌شود. در رابطه ۸، (ω, ϕ, κ) زوایای سیستم مختصات جغرافیایی برای تصویر سنجنده می‌باشند. در معادله ۹، (f) برابر با فاصله کانونی سنجنده می‌باشد. همچنین مختصات جهانی با (X, Y, Z) مشخص شده است. اندیس A مربوط به جانور و اندیس S مربوط به مرکز اصلی سنجنده می‌باشد [۲۶].

$$\begin{aligned} a_1 &= \cos\phi \cos\kappa + \sin\phi \sin\omega \sin\kappa \\ b_1 &= \cos\phi \sin\kappa + \sin\phi \sin\omega \cos\kappa \\ c_1 &= \sin\phi \cos\omega \\ a_2 &= -\cos\omega \sin\kappa \\ b_2 &= \cos\omega \cos\kappa \\ c_2 &= \sin\omega \\ a_3 &= \sin\phi \cos\kappa + \cos\phi \sin\omega \sin\kappa \\ b_3 &= \sin\phi \sin\kappa - \cos\phi \sin\omega \cos\kappa \\ c_3 &= \cos\phi \cos\omega \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} x &= -f \frac{a_1(X_A - X_S) + b_1(Y_A - Y_S) + c_1(Z_A - Z_S)}{a_3(X_A - X_S) + b_3(Y_A - Y_S) + c_3(Z_A - Z_S)} \\ y &= -f \frac{a_2(X_A - X_S) + b_2(Y_A - Y_S) + c_2(Z_A - Z_S)}{a_3(X_A - X_S) + b_3(Y_A - Y_S) + c_3(Z_A - Z_S)} \end{aligned} \quad (9)$$

۴ Collinearity Condition

^۱ Canny

^۲ Greenness

^۳ Excess green index

۲-۳-۵- شرط پیوستگی و حذف سوژه تکراری

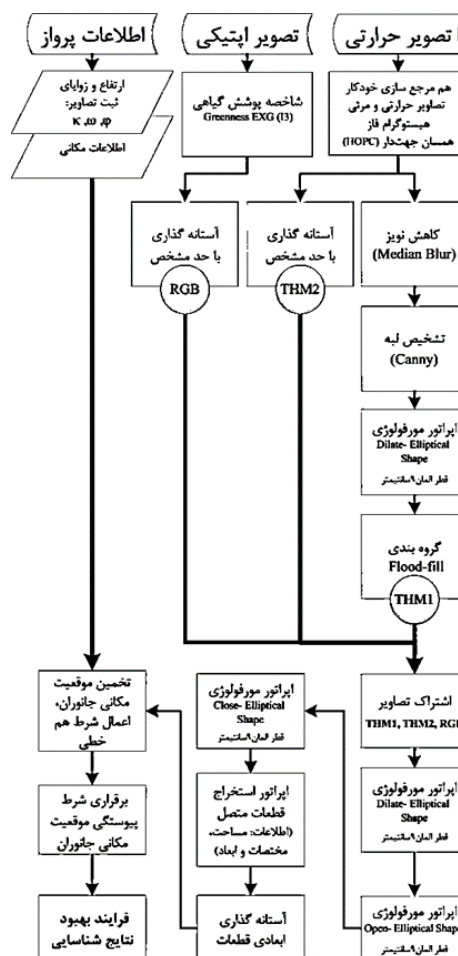
به منظور ردیابی جانور، پس از محاسبه موقعیت جانوران در یک فریم، موقعیت جانوران بین فریم‌های قبلی و بعدی در شعاع حرکتی جانوران بررسی شده و در صورت حضور سوژه در حداقل سه فریم متوالی با ابعاد مشابه، سوژه به عنوان جانور ثبت شده و مسیر حرکتی آن مشخص می‌شود.

۲-۳-۶- فرآیند بهبود نتایج شناسایی

در فرآیند بهبود نتایج شناسایی، به منظور ترکیب باندهای مرئی و حرارتی و تقسیم‌بندی تصاویر، از شاخصه‌ای مطابق رابطه ۱۰ با الهام از شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده^۱ استفاده می‌شود.

$$(10) \quad \frac{TIR - B}{TIR + B \times TIR}$$

در رابطه فوق، TIR باند حرارتی و B باند آبی می‌باشد. مراحل این الگوریتم در فلوچارت شکل ۳ مشاهده می‌شود.



شکل ۳- ساختار الگوریتم‌های پردازش تصاویر

۲-۴- برنامه‌ریزی مسیر پرواز

در برنامه‌ریزی مسیر پرواز، با توجه مباحث بیان شده در بخش طراحی سنجنده، ارتفاع از کمینه فاصله‌ی مقبول از موانع طبیعی همچون درختان، برابر ۴۰ متر از نقطه برخاست انتخاب شد. همچنین با انتخاب سنجنده‌ی ارزان قیمت حرارتی، جهت مقابله با کشیدگی، سرعت پرواز ابتدا به کمتر ۳/۸ متر بر ثانیه، سپس جهت تطابق با سرعت پردازش به میزان ۱ متر بر ثانیه انتخاب شد. میزان هم‌پوشانی تصویر اپتیکی نیز، در این آزمون برابر ۹۰٪ طولی و ۶۰٪ عرضی انتخاب شد. همچنین در برداشت از حرکت ماریج، همانند حرکت ماشین چمن‌زنی، در جهت باد استفاده می‌شود. این مسیر با سرعتی ثابت طی می‌شود. زاویه‌های چرخشی در محورهای X و Y (رول و پیچ) دوربین‌ها در لحظه‌ی برداشت توسط گیمبال گین بالا تصحیح و با استفاده از سنجنده‌ی زاویه‌ای ثانویه این لرزش گیر ثبت می‌شود. در انتها چرخش در محور Z، نیز با استفاده قطب نمای الکترونیکی ذخیره می‌شود.

۳- پیاده‌سازی و ارزیابی سامانه پیشنهادی

به منظور ارزیابی سامانه پیشنهادی، دام‌های گاوها در یک دامداری در جنوب شهر ساری، جهت پایش انتخاب شد.

۳-۱- پیاده‌سازی سخت‌افزاری سامانه

سخت افزار این سامانه، شامل یک ایستگاه زمینی و یک پهپاد از نوع کوادکوپتر است که به صورت دست‌ساز به منظور پایش جانوران در ارتفاع پایین طراحی شده و در شکل ۴ مشاهده می‌شود. بیشینه سرعت برابر ۲۰ متر بر ثانیه و زمان پرواز ۱۶ دقیقه می‌باشد. سیستم موقعیت‌یاب جهانی با دقت ۱/۵ متر و دقت سیستم اندازه‌گیری اینرشیال ۰/۰۰۱ درجه می‌باشند [۴۷]. قسمت سنجش از دور این سامانه با وزن کلی ۴۵۰ گرم، شامل یک رایانه جانبی، یک سنجنده نور مرئی ساخت شرکت Omni Vision و یک سنجنده حرارتی مدل Lepton، ساخت شرکت FLIR با قدرت تفکیک مکانی به ترتیب ۰/۰۳ متر و ۰/۲۹ متر می‌باشد. رایانه جانبی مجهز به پردازشگر ۱/۲ گیگاهرتز، ۴ هسته‌ای و ۶۴ بیتی به همراه یک گیگابایت حافظه داخلی که مسئول هماهنگی سنجنده‌ها، هم‌مرجع‌سازی و پردازش آنی تصاویر است. مشخصات کامل سامانه‌ی پایش جانوران در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

^۱ The normalized difference vegetation index (NDVI)

روش پیشنهادی از ۱۲۰۰ تصویر ۸۳٪ جانوران را تشخیص داده است.



شکل ۴- پهپاد و سامانه‌ی سنجش از دور پایش جانوران

جدول ۳- نتایج مراحل مختلف پردازش تصاویر

تعداد سوژه‌های			مراحل پردازش تصویر
کاذب	تکراری	صحیح	
-	-	-	(الف): شاخص پوشش گیاهی (تصاویر نورمرئی)
۱۸۸۵	۵۸	۶	(ب): الگوریتم قطعه‌بندی (تصاویر حرارتی)
-	-	-	(پ): الگوریتم آستانه‌گذاری (تصاویر حرارتی)
۲۰۶۳	۶۱	۶	(ج): اشتراک تصاویر: { (الف)، (ب) و (پ) }
۶۵۸	۵۱	۶	(د): پردازش ابعادی سوژه‌ها
۴۱۲	۲۷	۶	(و): اعمال شرط پیوستگی بر سوژه‌ها
۴۰	۳	۵	(ط): ردیابی سوژه‌ها
۸	۱	۵	(ی): اعمال شاخصه‌ی توسعه‌یافته

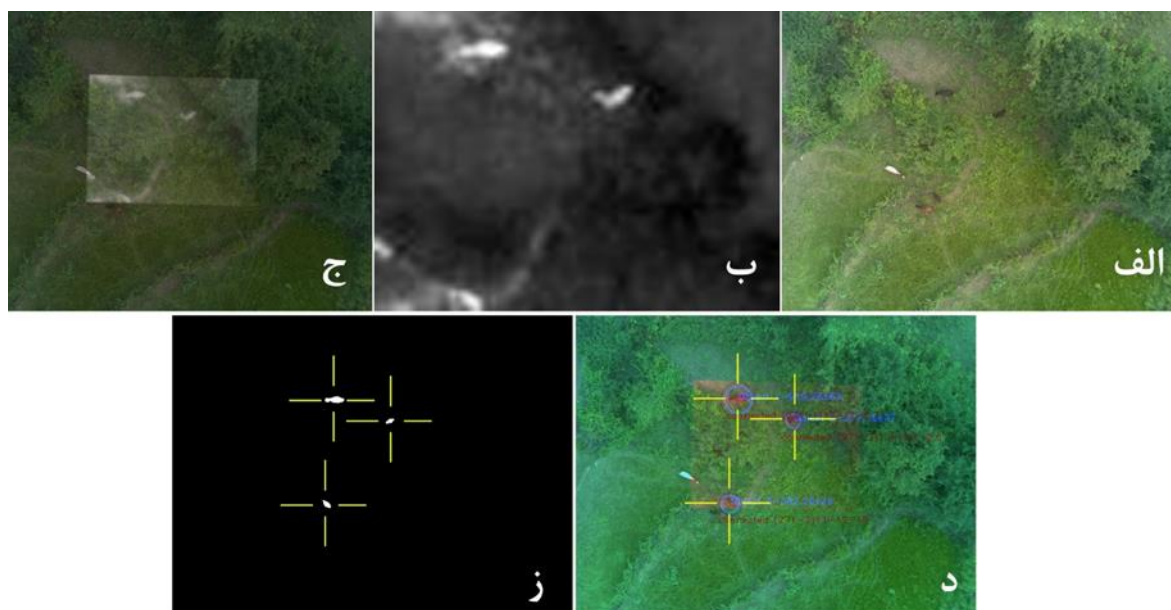
جدول ۴ و شکل ۵ عملکرد روش پیشنهادی را در مراحل مختلف نشان می‌دهد. در جدول ۴ موقعیت مکانی و خطای سه سوژه‌ی حاضر در تصویر هوایی شکل ۵ مشاهده می‌شود. به منظور ارزیابی خطای مختصات جانوران شناسایی شده، از تصویر ارتوموزائیک استفاده شده است و مختصات جانوران در تصویر ارتو با مختصات-های حاصل از روش پیشنهادی مقایسه می‌شوند. با بررسی تصادفی خطای ۳۰ سوژه، خطای موقعیتی روش پیشنهادی حدود ۲/۱۷ متر تخمین زده شده است. مجموع نقاط خروجی روش پیشنهادی در شکل ۶-الف نمایش داده شده است. در راستای بررسی دقیق‌تر، این تصویر به دو ناحیه تقسیم شده است. ناحیه یک شکل ۶-ب و ناحیه دوم در شکل ۷.

جدول ۲- مشخصات سامانه‌ی پایش جانوران

مشخصات پهپاد و زیرسیستم سنجش از دور	
ابعاد (سر ملخ تا ملخ)	۰/۷ متر
موتور	۲۱۰ وات
نسبت نیروی پیشران به وزن برخاست	۲/۳
وزن به همراه محموله	۱۸۹۰ گرم
وزن محموله	۴۵۰ گرم
بیشینه وزن محموله	۷۲۰ گرم
توان مصرفی	۳۴۴ وات
توان مصرفی ویژه	۱۸۲ وات بر کیلوگرم
انرژی ذخیره شده ویژه	۱۶۳/۸ وات‌ساعت بر کیلوگرم
زمان پرواز	۱۶ دقیقه
برد الکترونیکی	۱/۶ کیلومتر
برد عملیاتی	۱۰ کیلومتر
ارتفاع عملیاتی	۴ کیلومتر
پردازشگر	۱/۲ گیگاهرتز
سنجنده‌ی حرارتی	وضوح ۸۰در ۶۰، دقت ۰/۰۵
سنجنده‌ی نورمرئی	دقت مکانی ۰/۰۳ متر
سیستم موقعیت‌یاب	دقت مکانی ۱/۵ متر
سیستم اینرشیال	دقت ۰/۰۰۱ درجه

۳-۲- پیاده‌سازی نرم‌افزاری سامانه

در جدول ۳ خروجی الگوریتم تشخیص خودکار در مراحل مختلف نشان داده شده است. در بخش‌های الف تا ج، تعداد زیادی از سوژه‌های کاذب تشخیص داده می‌شود. سپس در بخش (د)، با کمک آستانه‌گذاری روی ابعاد جانوران، تعداد قابل توجهی از سوژه‌های کاذب کاسته شده است. همچنین در بخش (ط)، که مربوط به ردیابی سوژه-ها است، با توجه به حضور در حاشیه تصاویر، یک عدد از سوژه‌ها حذف شده است. از سوی دیگر مشاهده می‌شود که ردیابی و شاخص توسعه یافته از تصاویر نور مرئی و حرارتی، در بخش‌های (ط) و (ی)، نقش موثری در حذف سوژه‌های کاذب ایفا کرده و سوژه‌های کاذب از ۴۰۰ عدد در بخش (و) به ۸ عدد کاهش یافته است. در مجموع



شکل ۵- الف) تصویر اپتیک، ب) تصویر حرارتی، ج) خروجی الگوریتم هم‌مرجع سازی، د) خروجی الگوریتم پردازش تصویر در سمت راست و ز) ماسک تصویر جانوران

جدول ۴- عملکرد الگوریتم تشخیص خودکار جانوران و اندازه گیری خطای الگوریتم تخمین موقعیت جانوران

شمارنده	موقعیت جغرافیایی اندازه گیری شده (درجه)		خروجی الگوریتم تشخیص جانوران (پیکسل)		خروجی الگوریتم تخمین موقعیت جغرافیایی (درجه)		خطای موقعیت (متر)
	طول	عرض	طول	عرض	طول	عرض	فاصله خطی
۱	۵۳/۰۳۸۷۰۰	۳۶/۴۰۸۰۹۲	۵۱۹	۲۶۸	۵۳/۰۳۸۷۲۶	۳۶/۴۰۸۰۷۸	۲/۷۹
۲	۵۳/۰۳۸۶۴۷	۳۶/۴۰۸۰۷۴	۶۹۶	۳۳۷	۵۳/۰۳۸۶۶۹	۳۶/۴۰۸۰۷۳	۱/۹۷
۳	۵۳/۰۳۸۶۳۶	۳۶/۴۰۸۱۶۱	۴۹۴	۶۰۱	۵۳/۰۳۸۶۲۲	۳۶/۴۰۸۱۷۴	۱/۹۳



شکل ۶- الف) خروجی مختصات‌های محاسبه شده از جانوران، ب) ناحیه یک: تمرکز سوژه‌های کاذب اطراف سقف خانه

ایجاد شده است. شکل ۷- الف) تشخیص صحیح مختصات جانوران در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با پیاده- سازی الگوریتم ردیابی در شکل ۷- ب) مسیر حرکت جانوران ترسیم شده است. هر نقطه، نماینده مختصات یک جانور در یک فریم و هر فلش، نماینده مسیر حرکت یک جانور می‌باشد.

همانطور که قسمت ب شکل ۶ مشاهده می‌شود که تمرکز سوژه‌های کاذب در ناحیه یک می‌باشد. در این منطقه به دلیل حضور سقف فلزی بسیار سرد، دامنه تصاویر حرارتی بسیار بزرگ شده که با وجود خروجی هشت بیتی سنجنده، از گرادیان تصاویر حرارتی کاسته شده و عوارض به درستی ثبت نمی‌شود. در نتیجه در این منطقه پردازش تصویر مختل شده و هشت سوژه کاذب



شکل ۷- ناحیه دو: از تصویر ارتوموزائیک: الف) نمایش جانوران تشخیص داده شده، ب) مسیر حرکت جانوران از طریق ردیابی

جدول ۵- مقایسه عملکرد پهپادهای سنجش از دور در پایش جانوران

نام محقق	هزینه سامانه (دلار) و مشخصات پهپاد	زمان پرواز، تخمین وسعت پوشش	دقت وضوح سنجند (متر)		زمان پردازش	درصد تشخیص جانوران	مرجع
			حرارتی	نورمرئی			
کراتین و همکاران	۲۰۱۶ ۴۰,۰۰۰ Responder-ING	۲۰ دقیقه، ۵۰ هکتار	۰/۰۵	۰/۰۵	پس پردازش	۱۰۰٪	[۴]
گونزالز و همکاران	۲۰۱۶ ۱۱,۰۰۰ S800-DJI	۱۵ دقیقه، ۵۰ هکتار	۰/۰۵	۰/۱۷	پس پردازش	۸۳٪	[۲۰]
ایزرائیل و همکاران	۲۰۱۷ ۳۵,۰۰۰ Falcon8-Asctec	۱۰ دقیقه، ۳۵ هکتار	۰/۰۳	-	پس پردازش	۱۰۰٪	[۳۴]
سامانه‌ی پیشنهادی	۲۰۰۰ دست ساز	۱۶ دقیقه، ۲۴ هکتار	۰/۲۹	۰/۰۳	پردازش- لحظه‌ای	۸۳٪	

موارد مشابه بوده است. از نوآوری‌های این سامانه پردازش زنده و آنی اطلاعات در حین پرواز می‌باشد. از نقاط ضعف این سامانه وضوح پایین تصاویر حرارتی و در نتیجه نیاز به کاهش ارتفاع پرواز و کاهش وسعت پوشش منطقه می‌باشد. برای مثال ۲۴ هکتار در ۱۶ دقیقه پایش می‌شود.

۴-۱- خطای خروجی سامانه پیشنهادی

خطای حاصل شده در نتایج روش پیشنهادی، به دو بخش خطاهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری تقسیم می‌شود. سنجنده‌های رایانه پرواز پهپاد در ثبت اطلاعاتی چون شتاب، زاویه، فشار هوا، جهت‌یابی قطب‌نما و سیستم موقعیت‌یاب جهانی هر یک شامل خطا می‌باشد. اعوجاج و کشیدگی در تصاویر با توجه به لرزش و حرکت سیستم در کنار وضوح بسیار کم تصاویر در سنجنده‌ی حرارتی (که ناشی از عدم وجود اطلاعات کالیبراسیون رادیومتریکی

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، بیش از ۱۲۰۰ جفت تصویر حرارتی و نور مرئی پوشش‌دار از پنج ناحیه مختلف، اخذ، پردازش و بررسی شده است. در سامانه پیشنهادی، دقیقاً هر ۲ ثانیه یک برداشت انجام و تصاویر در میانگین زمانی ۳/۸ ثانیه هم‌مرجع‌سازی می‌شوند. همچنین الگوریتم‌های تشخیص، تخمین موقعیت و ردیابی سوژه نیز در میانگین زمانی ۴/۹ ثانیه اجرا می‌شوند. در جدول ۵ سامانه پیشنهادی و سامانه‌های مشابه که در سال‌های اخیر توسعه یافته‌اند، از لحاظ هزینه، سطح تحت پوشش، وضوح، روش پردازش تصاویر و دقت کمی تشخیص جانوران، مقایسه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود دقت شناسایی این سیستم، مشابه با نمونه‌های دیگر و برابر ۸۳٪ می‌باشد. همچنین هزینه‌ی ساخت سامانه‌ی پیشنهادی ۵ الی ۲۰ درصد

سنجندهی حرارتی ارزان قیمت است)، از جمله خطاهای سخت‌افزاری می‌باشند. خطاهای نرم‌افزاری شامل خطاهای الگوریتم هم‌مرجع‌سازی، تشخیص و ردیابی می‌باشد. جهت محاسبه خطای الگوریتم هم‌مرجع‌سازی، فاصله مراکز هندسی جانوران در تصویر حرارتی و نور مرئی با کمک رایانه پردازش در ۳۶ فریم تصادفی بررسی شده است که این خطا حدود ۰/۲ متر تخمین زده شده است. این خطا حاصل از تفاوت‌های رادیومتریکی و وضوح متفاوت تصاویر می‌باشد. همچنین خطای خروجی الگوریتم‌های تشخیص و ردیابی که در جدول‌های ۲ و ۳ بررسی شده است، حاصل از حرکت شتابزده برخی از جانوران و تشابه رنگ پوست و محیط پیرامون در حین اخذ تصاویر می‌باشد.

۴-۲- حساسیت سامانه پیشنهادی

با توجه به تصاویر به اخذ شده در شرایط مختلف دمایی آب‌وهوایی و نورپردازی، کارایی سامانه‌ی پیشنهادی از مواردی دچار اختلال می‌شود. الف) در اخذ داده با سنجنده‌ی حرارتی می‌بایست ساعاتی از روز جهت برداشت انتخاب شود که اختلاف دمای زمین و جانوران بیشینه باشد. بنابراین اخذ داده بخصوص در فصل تابستان می‌بایست در ساعات قبل و بعد از طلوع آفتاب انجام شود. ب) حضور اجسام با دماهای غیر طبیعی، بسیار گرم و یا بسیار سرد خارج از محدوده دمای طبیعی سنجنده، تصویر حرارتی غیر قابل استفاده خواهد بود.

۴-۳- جمع‌بندی و پیشنهادات

در این مطالعه، یک سامانه ارزان قیمت به منظور تشخیص و ردیابی خودکار جانوران مبتنی بر پهپاد سنجش از دور ارائه شده است. این سامانه مجهز به رایانه جانبی جهت پردازش آنی تصاویر می‌باشد. بدین ترتیب رایانه نصب شده روی پهپاد موفق به اخذ همزمان داده-

های حرارتی و اپتیکی، هم‌مرجع‌سازی تصاویر اپتیکی با حرارتی در وضوح پیکسلی پایین و تشخیص و ردیابی جانوران شد. در سامانه پیشنهادی، تصاویر و اطلاعات در زمان ۰/۵۷ ثانیه به صورت هم‌زمان ثبت می‌شوند. جهت هم‌مرجع‌سازی خودکار تصاویر حرارتی و نور مرئی، با توجه به تفاوت‌های رادیومتریکی، وضوح پایین تصویر حرارتی و عدم کارکرد عملگرهای معمولی، از الگوریتم هیستوگرام تناسب فاز جهت‌دار استفاده شد. همچنین به منظور شناسایی جانوران از تصاویر حرارتی، پردازش‌های مبتنی بر شکل، حذف پوشش گیاهی، آستانه‌گذاری ابعادی، شروط پیوستگی و شاخص‌های ترکیبی از باندهای حرارتی و نوری بکار گرفته شد. تا در نهایت این سامانه در مسیر پرواز نقطه زنی، و پردازش خودکار، به صورت میانگین ۸۳٪ جانوران تشخیص بدهد. از جمله پیشنهاداتی که در مطالعات آتی می‌توانند مورد بررسی قرار گیرند، عبارتند از: الف) ارائه‌ی سامانه‌ی پایش جانوران در مناطق وسیع با کمک پهپادهای بال ثابت و هایبرید. ب) از چالش‌های این پژوهش بکارگیری سنجنده حرارتی ارزان قیمت اما بدون اطلاعات کالیبراسیون رادیومتریکی بود، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی اطلاعات کالیبراسیون این سنجنده حرارتی ارزان قیمت استخراج شود. ج) در این تحقیق، تلاش برای ایجاد تعادل میان هزینه و کارایی قطعات با تکیه بر بخش نرم‌افزاری بود، اما جهت کارایی هرچه بیشتر پیشنهاد می‌شود سامانه‌ای مشابه با کمک سنجنده-های حرارتی با وضوح بالاتر و رایانه‌های جانبی قدرتمندتر جهت پردازش زنده تصاویر مورد پژوهش قرار بگیرد. بدین ترتیب امکان بهره‌گیری از الگوریتم‌های پیچیده‌تر مانند یادگیری ممکن می‌شود. د) در روند این پژوهش ارتفاع با کمک سنجنده‌ی فشارسنج و تصاویر پوشش‌دار محاسبه شد اما بهره‌گیری از یک سنجنده جدا گانه جهت حذف قابل توجهی از پردازش‌ها پیشنهاد می‌شود.

مراجع

- [1] J. Linchant, J. Lisein, J. Semeki, P. Lejeune, and C. Vermeulen, "Are unmanned aircraft systems (UASs) the future of wildlife monitoring? A review of accomplishments and challenges," *Mamm. Rev.*, vol. 45, no. 4, pp. 239–252, Oct. 2015.
- [2] Y. Xue, T. Wang, and A. K. Skidmore, "Automatic Counting of Large Mammals from Very High Resolution Panchromatic Satellite Imagery," *Remote Sens.*, vol. 9, no. 9, p. 878, Aug. 2017.
- [3] K. Anderson and K. J. Gaston, "Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology," *Front. Ecol. Environ.*, vol. 11, no. 3, pp. 138–146, Apr. 2013.

- [4] L.-P. Chrétien, J. Théau, and P. Ménard, "Visible and thermal infrared remote sensing for the detection of white-tailed deer using an unmanned aerial system," *Wildl. Soc. Bull.*, vol. 40, no. 1, pp. 181–191, Mar. 2016.
- [5] D. Chabot and D. M. Bird, "Wildlife research and management methods in the 21st century: Where do unmanned aircraft fit in?," *J. Unmanned Veh. Syst.*, vol. 3, no. 4, pp. 137–155, Dec. 2015.
- [6] A. C. Seymour, J. Dale, M. Hammill, P. N. Halpin, and D. W. Johnston, "Automated detection and enumeration of marine wildlife using unmanned aircraft systems (UAS) and thermal imagery," *Sci. Rep.*, vol. 7, no. 1, p. 45127, Dec. 2017.
- [7] S. DB, "Job-Related Mortality of Wildlife Workers in the United States, 1937-2000," *Wildl. Soc. Bull.*, vol. 31, no. 4, pp. 1015–1020, 2003.
- [8] A. F. Rees, L. Avens, K. Ballorain, E. Bevan, A. C. Broderick, R. R. Carthy, M. J. A. Christianen, G. Duclos, M. R. Heithaus, D. W. Johnston, J. C. Mangel, F. Paladino, K. Pendoley, R. D. Reina, N. J. Robinson, R. Ryan, S. T. Sykora-Bodie, D. Tilley, M. R. Varela, E. R. Whitman, P. A. Whittock, T. Wibbels, and B. J. Godley, "The potential of unmanned aerial systems for sea turtle research and conservation: A review and future directions," *Endanger. Species Res.*, vol. 35, pp. 81–100, 2018.
- [9] R. Kays, J. Sheppard, K. Mclean, C. Welch, C. Paunescu, V. Want, G. Kravit, and M. Crofoot, "Hot monkey, cold reality: surveying rainforest canopy mammals using drone-mounted thermal infrared sensors," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 00, no. 00, pp. 1–13, 2018.
- [10] Y. Fu, M. Kinniry, and L. N. Kloepper, "The Chirocopter: A UAV for recording sound and video of bats at altitude," *Methods Ecol. Evol.*, vol. 9, no. 6, pp. 1531–1535, 2018.
- [11] I. Newton, "Birds of Prey," *Nat. Enemies*, pp. 143–162, 2018.
- [12] E. Bondi, D. Dey, A. Kapoor, J. Piavis, S. Shah, F. Fang, B. Dilkina, R. Hannaford, A. Iyer, L. Joppa, and M. Tambe, "AirSim-W: A simulation environment for wildlife conservation with UAVs," *Proc. 1st ACM SIGCAS Conf. Comput. Sustain. Soc. COMPASS 2018*, 2018.
- [13] S. Mimura, K. Itoh, T. Kobayashi, T. Takigawa, A. Tajima, A. Sawamura, and N. Otsu, "The Cow Gait Recognition Using CHLAC," in *2008 Bio-inspired, Learning and Intelligent Systems for Security*, 2008, pp. 56–57.
- [14] S. N. Longmore, R. P. Collins, S. Pfeifer, S. E. Fox, M. Mulero-Pázmány, F. Bezombes, A. Goodwin, M. De Juan Ovelar, J. H. Knapen, and S. A. Wich, "Adapting astronomical source detection software to help detect animals in thermal images obtained by unmanned aerial systems," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 38, no. 8–10, pp. 2623–2638, 2017.
- [15] S. Nyamuryekung'E, A. F. Cibils, R. E. Estell, and A. L. Gonzalez, "Use of an unmanned aerial vehicle - Mounted video camera to assess feeding behavior of raramuri criollo cows," *Rangel. Ecol. Manag.*, vol. 69, no. 5, pp. 386–389, 2016.
- [16] J. H. Huang, Y. Y. Chen, Y. Te Huang, P. Y. Lin, Y. C. Chen, Y. F. Lin, S. C. Yen, P. Huang, and L. J. Chen, "Rapid prototyping for wildlife and ecological monitoring," *IEEE Syst. J.*, vol. 4, no. 2, pp. 198–209, 2010.
- [17] F. Luan, S. Paris, E. Shechtman, and K. Bala, "Deep Photo Style Transfer," Mar. 2017.
- [18] J. C. van Gemert, C. R. Verschoor, P. Mettes, K. Epema, L. P. Koh, and S. Wich, "Nature Conservation Drones for Automatic Localization and Counting of Animals," *Springer, Cham*, 2015, pp. 255–270.
- [19] M. A. Olivares-Mendez, C. Fu, P. Ludvig, T. F. Bissyandé, S. Kannan, M. Zurad, A. Annaiyan, H. Voos, and P. Campoy, "Towards an autonomous vision-based unmanned aerial system against wildlife poachers," *Sensors (Switzerland)*, vol. 15, no. 12, pp. 31362–31391, 2015.
- [20] L. F. Gonzalez, G. A. Montes, E. Puig, S. Johnson, K. Mengersen, K. J. Gaston, L. F. Gonzalez, G. A. Montes, E. Puig, S. Johnson, K. Mengersen, and K. J. Gaston, "Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and Artificial Intelligence Revolutionizing Wildlife Monitoring and Conservation," *Sensors*, vol. 16, no. 1, p. 97, Jan. 2016.
- [21] A. Yilmaz, O. Javed, and M. Shah, "Object tracking," *ACM Comput. Surv.*, vol. 38, no. 4, p. 13–es, Dec. 2006.
- [22] M. A. Fischler and R. C. Bolles, "Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography," *Commun. ACM*, vol. 24, no. 6, pp. 381–395, Jun. 1981.
- [23] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, and L. Van Gool, "Speeded-Up Robust Features (SURF)," *Comput. Vis. Image Underst.*, vol. 110, no. 3, pp. 346–359, Jun. 2008.
- [24] D. G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 60, no. 2, pp. 91–110, Nov. 2004.

- [25] I. Mondragón, P. Campoy, C. M.-... (ICRA), 2010 IEEE, and undefined 2010, "3D pose estimation based on planar object tracking for UAVs control," *ieeexplore.ieee.org*.
- [26] Z. Li, C. Zhu, C. Gold, C. Zhu, and C. Gold, *Digital Terrain Modeling*. CRC Press, 2004.
- [27] K. Shahi, H. Z. M. Shafri, E. Taherzadeh, S. Mansor, and R. Muniandy, "A novel spectral index to automatically extract road networks from WorldView-2 satellite imagery," *Egypt. J. Remote Sens. Sp. Sci.*, vol. 18, no. 1, pp. 27–33, Jun. 2015.
- [28] J. Sanchez-Lopez, S. S.-... A. F. 2013, and undefined 2013, "Autonomous ship board landing of a VTOL UAV," *asu.pure.elsevier.com*, 2013.
- [29] J. G. A. Barbedo and L. V. Koenigkan, "Perspectives on the use of unmanned aerial systems to monitor cattle," *Outlook Agric.*, vol. 47, no. 3, pp. 214–222, 2018.
- [30] A. Abd-Elrahman, L. Pearlstine, and F. Percival, "Development of Pattern Recognition Algorithm for Automatic Bird Bird Detection from Unmanned Aerial Vehicle Imagery," *Surv. L. Inf. Sci.*, vol. 65, no. 1, p. 37, 2005.
- [31] Y. Fang, S. Du, R. Abdoola, K. Djouani, and C. Richards, "Motion Based Animal Detection in Aerial Videos," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 92, pp. 13–17, Jan. 2016.
- [32] D. Chabot and D. M. Bird, "Evaluation of an off-the-shelf Unmanned Aircraft System for Surveying Flocks of Geese," *Waterbirds*, vol. 35, no. 1, pp. 170–174, Mar. 2012.
- [33] G. J. Grenzdörffer, "UAS-based automatic bird count of a common gull colony," *ISPRS - Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. XL-1/W2, no. September, pp. 169–174, 2013.
- [34] M. Israel and A. Reinhard, "Detecting nests of lapwing birds with the aid of a small unmanned aerial vehicle with thermal camera," in *2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 2017, pp. 1199–1207.
- [35] Jennifer Joern, "Unmanned Aerial Systems and Thermal Infrared Imaging for Search and Rescue Efforts beneath Snowpack," *University of Denver*, 2015.
- [36] K. Rainwater-Lovett, J. M. Pacheco, C. Packer, and L. L. Rodriguez, "Detection of foot-and-mouth disease virus infected cattle using infrared thermography," *Vet. J.*, vol. 180, no. 3, pp. 317–324, Jun. 2009.
- [37] P. Terletzky, R. D. Ramsey, and C. M. U. Neale, "Spectral Characteristics of Domestic and Wild Mammals," *GIScience Remote Sens.*, vol. 49, no. 4, pp. 597–608, 2012.
- [38] J. O'Connor, M. J. Smith, and M. R. James, "Cameras and settings for aerial surveys in the geosciences," *Prog. Phys. Geogr.*, vol. 41, no. 3, pp. 325–344, 2017.
- [39] M. Israel, "A UAV-BASED ROE DEER FAWN DETECTION SYSTEM," *ISPRS - Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. XXXVIII-1/, pp. 51–55, Sep. 2012.
- [40] C. Vermeulen, P. Lejeune, J. Lisein, P. Sawadogo, and P. Bouché, "Unmanned Aerial Survey of Elephants," *PLoS One*, vol. 8, no. 2, p. e54700, Feb. 2013.
- [41] X. Yu and Y. Zhang, "Sense and avoid technologies with applications to unmanned aircraft systems: Review and prospects," *Prog. Aerosp. Sci.*, vol. 74, pp. 152–166, Apr. 2015.
- [42] W. E. Loechel, "An Atlas of Animal Anatomy for Artists . W. Ellenberger , H. Baum , H. Dittrich , Helen Weinbaum," *Q. Rev. Biol.*, vol. 27, no. 2, pp. 223–223, Jun. 1952.
- [43] S. Ward, J. Hensler, B. Alsalam, and L. F. Gonzalez, "Autonomous UAVs wildlife detection using thermal imaging, predictive navigation and computer vision," in *2016 IEEE Aerospace Conference*, 2016, pp. 1–8.
- [44] Y. Ye and L. Shen, "HOPC: A NOVEL SIMILARITY METRIC BASED on GEOMETRIC STRUCTURAL PROPERTIES for MULTI-MODAL REMOTE SENSING IMAGE MATCHING," *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 3, no. July, pp. 9–16, Jun. 2016.
- [45] B. Rasti, P. Ghamisi, J. Plaza, and A. Plaza, "Fusion of Hyperspectral and LiDAR Data Using Sparse and Low-Rank Component Analysis," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 55, no. 11, pp. 6354–6365, 2017.
- [46] W. Yang, X. Zhao, S. Wang, L. Chen, X. Chen, and S. Lu, "A New Approach for Greenness Identification from Maize Images," *Springer, Cham*, 2015, pp. 339–347.
- [47] "Pixhawk 4 · PX4 User Guide." [Online]. Available: https://docs.px4.io/en/flight_controller/pixhawk4.html. [Accessed: 30-Dec-2018].