ردیابی مسیر مهاجرت پرندگان با استفاده از بهبود الگوریتم های کلاسیک و داده های سنجش از دور، شناسایی مکان های مطلوب استقرار پرندگان آبزی و کنارآبزی جهت تامین نیاز های زیستی

محمدصادق کریمی، فاطمه طباطبایی یزدی

1-دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت و حفاظت از تنوع زیستی، دانشگاه فردوسی مشهد
2- استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
Karimi.msadegh77@gmail.com

چکیده:

ردیابی مسیر پرندگان کوچنده و پایش مناطق زیستگاهی مطلوب جهت استقرار پرندگان آبزی و کنار آبزی برای حفاظت از این گونه های ارزشمند اهمیت بسیاری دارد. سنجش از دور یکی از ابزار های بسیار مفید و توسعه دهنده در حوزه ردیابی مسیر های کوچ پرندگان و همچنین مدل سازی توزیع فضایی آنها به شمار می رود. در این مقاله به اهمیت سنجش از دور و هوش مصنوعی در ردیابی مسیر های پرندگان کوچنده، بالا بردن دقت الگوریتم های ردیابی و شناسایی مکان های مطلوب اسقرار پرندگان آبزی و کنار آبزی پرداخته شده است. کوچ شاید نقش مهمی در زندگی هر جنبده ای داشته باشد. به قول اسیری لاهیچی از اعاظم و افاضل قرن نهم هجری: وقت کوچ آمد نفیر الطریقست الطریق ❋ره خطرناکست یاران وا ممانید از رفیق.

واژگان کلیدی:

پرندگان آبزی، سنجش از دور، کوچ، زیستگاه، الگوریتم های ردیابی

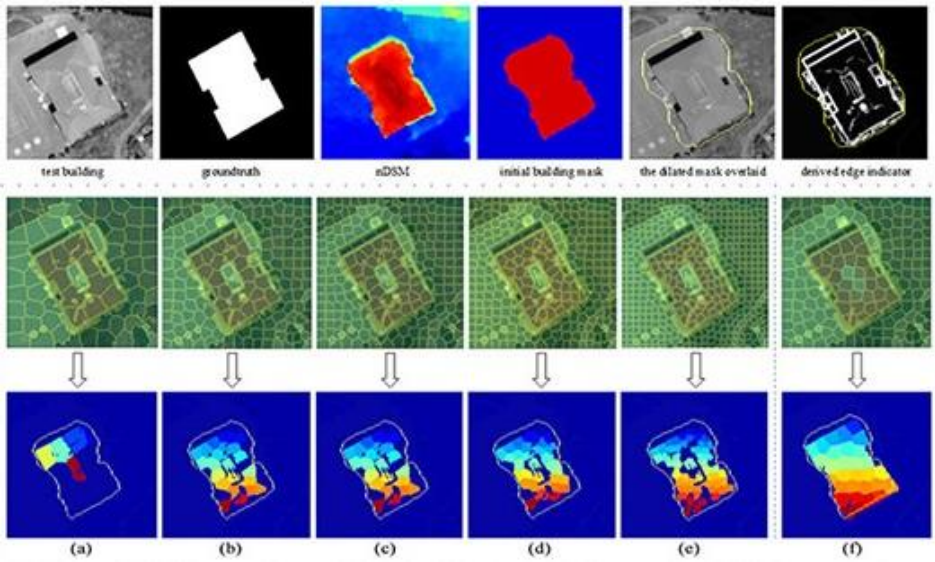
مقدمه:

برخی پرندگان برای رفع نیاز های خود نیاز به طی کردن مسافت های طولانی دارند. ردیابی مسیر های کوچ پرندگان از حیث شناخت بیشتر نیاز های آنان برای متخصصان حیات وحش جذاب و البته در مواردی ضروری به نظر می رسد. تامین غذا یکی از مهمترین دلایل کوچ و توزیع های زمستان گذرانی پرندگان می باشد (مک گوان و همکاران، 2017؛ کارتر و همکاران، 2016). می توان با استفاده از الگوریتم های کلاسیک مسیر های کوچ پرندگان را ردیابی کرد اما باید اذعان داشت که دقت الگوریتم های کلاسیک ممکن است در مواردی پایین باشد (لی، 2022). به منظور رفع معضل دقت الگوریتم های کلاسیک برای پایش مسیر های مهاجرت یا به معنی درست کلمه کوچ آنها می توان از روش های نوین مانند

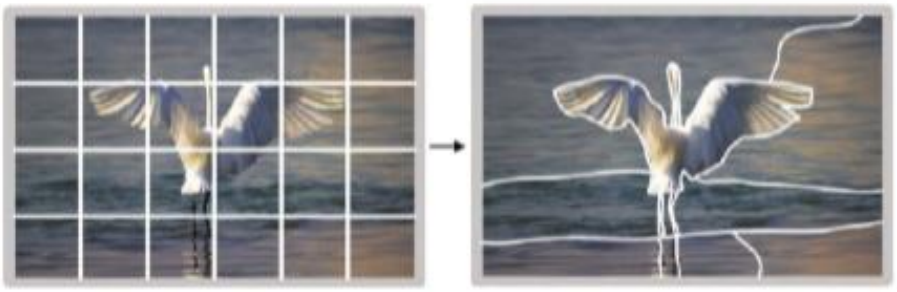
تکنیک سنجش از دور استفاده کرد (لی، 2022). بنابراین دقت الگوریتم های ردیابی مسیر های کوچ پرندگان با استفاده از سنجش از دور می تواند قابل قبول باشد. همچنین با استفاده از سنجش از دور می توان مکان های زیستگاهی مناسب گونه های آبزی و کنار آبزی را هم مورد پایش قرار داد (نیامبایار و همکاران، 2021). با استفاده از داده های ماهواره ای می توان مکان های توقف پرندگان را شناسایی و مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. پایش مناطق مطلوب توقف پرندگان می تواند به ارزیابی حفاظتی زیستگاه آنان کمک کند (نیامبایار و همکاران، 2021). تاکنون روش هایی برای ردیابی مسیر های کوچ پرندگان مانند پیشنهاد الگوریتم های شناسایی، استفاده از فیلتر کالمن، موقعیت یابی بیسیم، پلت فرم گلخانه محرک، بررسی میدان های تصادفی ناهمگن هدایت الکتریکی، تقسیم بندی سوپر پیکسلی، گرادیان های برداری و روش های مبتنی بر لگاریتم طبیعی رسانایی و ضریب انبساط اعمال شده بر ماتریس کوواریانس به کار رفته اند (دنگ و همکاران، 2019؛ پاندا و بارچیک، 2021؛ باریوس و همکاران، 2021؛ دنگ و همکاران، 2020؛ یائو و همکاران، 2021؛ زنده دل و غلامی، 2020). در مطالعه چن و همکاران (2020) الگوریتم تقسیم بندی سوپر پیکسل با استفاده از پیکسل بندی خوشه های مشابه بهبود یافت. اطلاعات سنجش از دور ضمن ردیابی مسیر های کوچ پرندگان می تواند مکان های مناسب توقف و زیستگاهی آنان را هم مورد بررسی قرار دهد. ارزیابی ریسک اکوسیستم های ارزشمند یکی از مهمترین کاربرد های مطالعات چند مقیاسی با تکنیک سنجش از دور می باشد (گو و وانگ، 2021). با اینکه سنجش از دور به افزایش دقت الگوریتم های کلاسیک کمک کرده است اما هنوز هم مشکلاتی در بحث ردیابی و تشخیص ممکن است وجود داشته باشد (لی، 2022). در کنار تکنیک سنجش از دور فناوری تله متری هم برای شناسایی مکان های توقف و زمستان گذرانی پرندگان به کار خواهد رفت (الرستم و بک من، 2018).

الگوریتم کارت گرافیکی برای تقسیم بندی سوپر پیکسلی و هیستوگرام گرادیان هدایت شده

برای به دست آوردن اطلاعات طیفی در تصاویر توسط گرادیان های برداری می توان از الگوریتم کارت گرافیکی جهت تقسیم بندی سوپر پیکسلی استفاده کرد (باریوس و همکاران، 2021). بعضا تصاویر ماهواره ای مورد استفاده برای بهبود الگوریتم های ردیابی ممکن است دارای مشکلاتی مانند داشتن سایه و پس زمینه باشند که عمل ردیابی و تشخیص را دچار مشکل خواهند کرد. یکی از راه های برطرف کردن مشکل پس زمینه استفاده از هیستوگرام گرادیان هدایت شده و خوشه بندی پیکسل های با ویژگی های مشابه می تواند این مشکل را رفع کند (چن و همکاران، 2020).



شکل1: نمونه ای از اصلاح سوپرپیکسلی (غریب بافقی و همکاران، 2018).



شکل2: تقسیم بندی سوپر پیکسلی (لی، 2022).

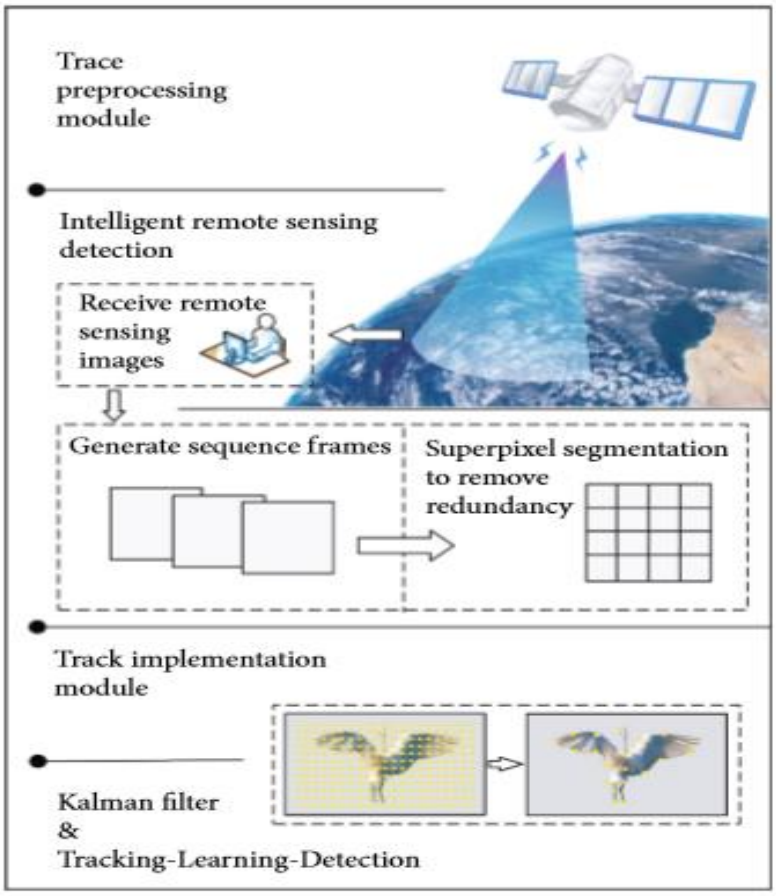
ردیابی مسیر های کوچ پرندگان با استفاده از الگوریتم ها

ردیابی مسیر های کوچ پرندگان و ثبت تک تک پرندگان آنها با روش های سنتی با مشکلاتی مواجه بوده است (ریاد، 2020). روش هایی مانند شکار و رصد مکان های زمستان گذرانی آنها برای تشخیص و ردیابی کارآمد به نظر می رسیدند (لی، 2022). ردیابی رادیویی و سنجش از دور امروزه نسبت به بسیاری از روش های سنتی کارآمد تر تلقی می شود (بیوس، 2018). الگوریتم ها متناسب با استراتژی های پرندگان در خصوص کوچ مانندارتفاع پرواز و ... باید انتخاب شوند (لی، 2022). دقت بالا و بررسی زمانی دو مولفه مهم در انتخاب الگوریتم ها برای کارآمدی آنها به شمار می روند.

شکل3: نمونه ای از رصد مسیر های کوچ پرندگان (یی و همکاران، 2022).

معماری الگوریتم های ردیابی

برایمعماری الگوریتم ردیابی ماژول های پیش پردازش و اجرای ردیابی مورد استفاده قرار خواهند گرفت. در ماژول پیش پردازش قاب های توالی تصاویر به دست آمده و تصحیحات هندسی و رادیومتریک در این مرحله انجام خواهد شد. تصحیح رادیومتریک نداخل های تابشی داده ها را کنترل خواهد کرد (لی، 2022). بعد از انجام تصحیحات برای رفع پیچیدگی های پردازشی الگوریتم ها تقسیم بندی های سوپر پیکسلی انجام خواهد شد. فیلتر کالمن دقت ردیابی را برای اطمینان بیشتر ارتقا خواهد داد.



شکل4: معماری الگوریتم ردیابی مسیر کوچ پرندگان (لی، 2022).

فرآیند فوق به طور خودکار می تواند از داده ها هدف را ردیابی و شناسایی کند. برای شناسایی هدف ماژول های پیش پردازش و ماژول ردیابی برای ایجاد مجموعه قوی الگوریتمی با یکدیگر تلفیق خواهند شد.

سنجش از دور هوشمند و ردیابی- فراطیفی، مرئی و ماکرو ویو

سنجش از دور هوشمند در کیفیت هوا، پایش آلودگی نفتی، کیفیت آب و ... به کار رفته است (لو و همکاران، 2021؛ لی، 2022). سنجش از دور می تواند بر اساس فراطیفی بودن، مرئی و ماکرو ویو تقسیم بندی شود که با توجه به باند های

مختلف طیفی امواج الکترومغناطیسی را مورد استفاده قرار می دهد (لی، 2022). استفاده از سنجش از دور هوشمند در عین مقرون به صرفه بودن برخی از خطاهای مهم را هم کاهش و نسبت به روش بصری کارایی بیشتری دارد. داده های حاصله در مراکز تخصصی مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهند گرفت.

فرآیند های تبدیل، بهبود و توصیف تصاویر

یکی از فرآیند های مهم تبدیل تصاویر به تصاویری می باشدکه با استفاده از الگوریتم ها قابل شناسایی باشد. همچنین فرآیند دیگری تحت عنوان بهبود انجام خواهد شد که مربوط به تراز هندسی می شود و در نهایت فرآیند تعریف یا توصیف کاربر را برای تصمیم گیری ها و تحلیل ها یاری خواهد کرد (شن و همکاران، 2019؛ لی، 2022).

نظریه گراف و حذف افزودنگی تصاویر با استفاده از هوش مصنوعی

تقسیم بندی سوپرپیکسلی برای استفاده از تصاویر در ردیابی پرندگان بر اساس نظریه گراف که یک الگوریتم کاربردی هوش مصنوعی می باشد مورد استفاده قرار خواهد گرفت (لی، 2022). در این فرآیند هر پیکسل در تصویر با گره ای در نمودار مطابقت خواهد کرد و سپس با بررسی اتصالات گره ها تفاوت بین توابع پیکسلی محاسبه خواهد شد. در واقع تقسیم بندی سوپر پیکسلی برای جاسازی تصاویر بر اساس الگوریتم و نمودار ها به کار خواهد رفت. حداقل الگوریتم درخت Spanning یا همان درخت پوشای مینیمم توزیع شده برای تقسیم بندی تصویر به کار خواهد رفت (یوآن و همکاران،2019). قوانین و معادلات ریاضی حداقل فاصله در منطقه، تفاوت بین مناطق و قوانین ادغام منطقه ای در این بخش به کار خواهند رفت که معادلات آن به ترتیب ذکر شده در شکل 5 آورده شده اند (لی، 2022).

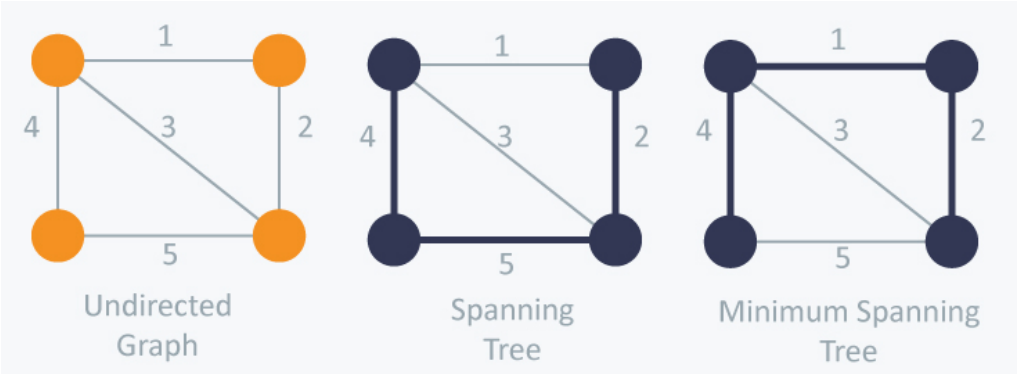
$$\mathrm{Int}(C) = \max_{C \in \mathrm{MST}(C,E)} w(e_{ij}).$$

$$\mathrm{diff}(C_1, C_2) = \min_{v_i \in C_1, v_j \in C_2, (v_i, v_j) \in E} \mathrm{w}((v_i, v_j)).$$

$$\mathrm{D}(C_1, C_2) = \begin{cases} \text{true, if, } \mathrm{diff}(C_1, C_2) > \mathrm{MInt}(C_1, C_2), \\ \text{false, otherwise.} \end{cases}$$

$$\mathrm{MInt}(C_1, C_2) = \min\left(\mathrm{Int}(C_1) + \tau(C_1), \mathrm{Int}(C_2) + \tau(C_2)\right).$$

شکل5: معادلات مورد نیاز حداقل درخت پوشا برای سوپرپیکسل ها



شکل6: الگوریتم درخت پوشای مینیمم.

همچنین از فیلتر کالمن برای بهبود ردیابی با الگوریتم بلند مدت استفاده خواهد شد. این بخش در کاهش زمان انتظار و بازه پایش را محدود خواهد کرد (لی،2022). مدل فیلتر کالمن از دو بخش پیش بینی و فرآیند تایید تشکیل شده است بخش پیش بینی نیاز به استفاده از معادله تکراری برای ایجاد مقدار متغیر حالت زمان و همچین مقدار تخمینی برای زمان بعدی خواهد داشت. به عبارت دیگر این فرآیند برای تخمین یک وضعیت بهبود یافته از وضعیت فعلی می باشد که زمان توسط معادلاتی به روز خواهد شد.

$$\hat{X}_{k^-} = A\hat{X}_{k-1} + B\hat{U}_{k-1}.$$

Inductive time update equation

$$P_{k^-} = AP_{k-1}A^T + Q.$$

State update equation

$$K_k = P_{k^-}H^T\left(HP_{k^-}H^T + R\right)^{-2}.$$

Inductive state update equation

$$\hat{X}_k = \hat{X}_{k^-} + K_k\left(Z_k - H\hat{X}_{k^-}\right).$$

شکل 7: برخی از معادلات تغییر زمان و حالت (لی، 2022).

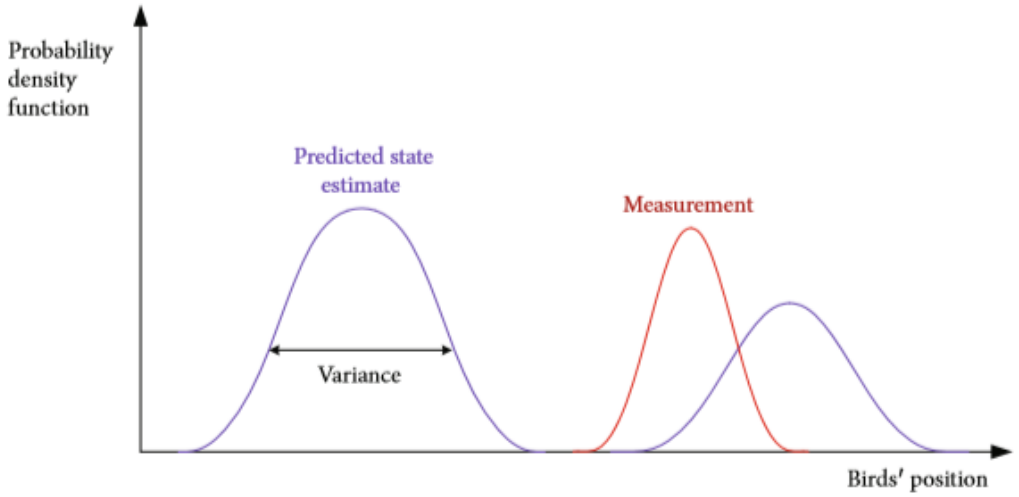
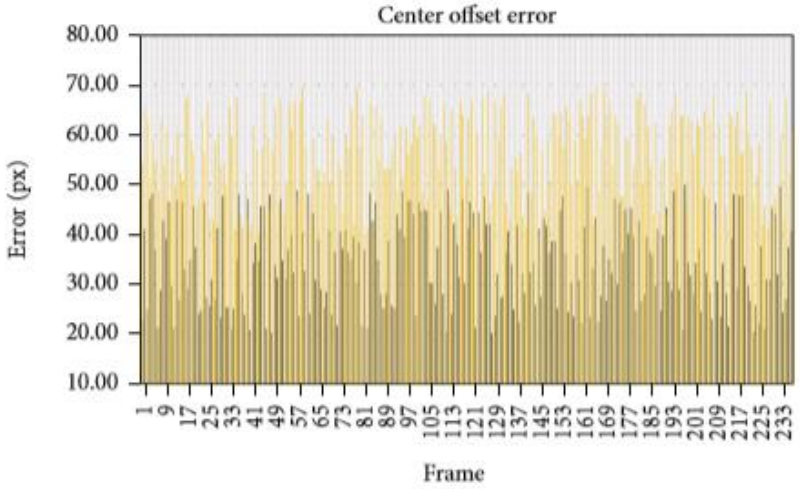


FIGURE 5: Kalman filter applied to path tracking.

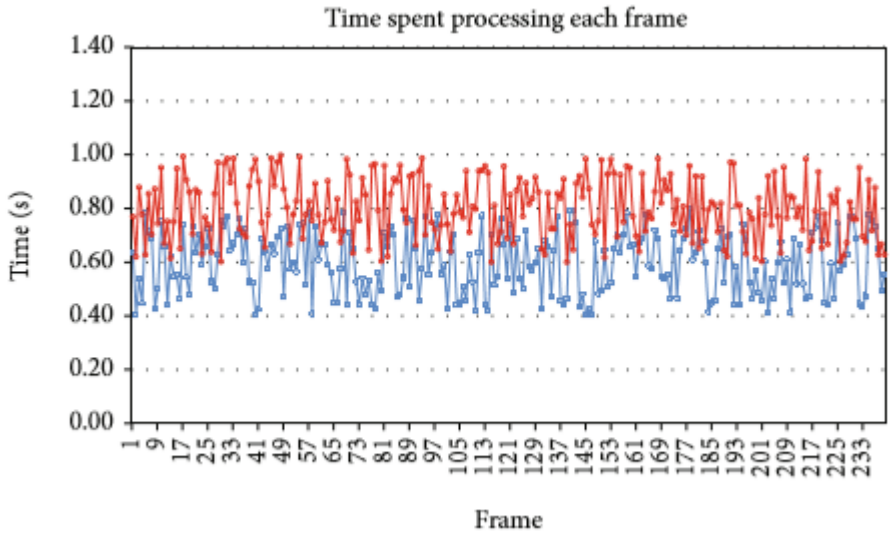
شکل8: کاربرد فیلتر کالمن در ردیابی مسیر (لی،2022).

شاخص های ارزیابی الگوریتم ها

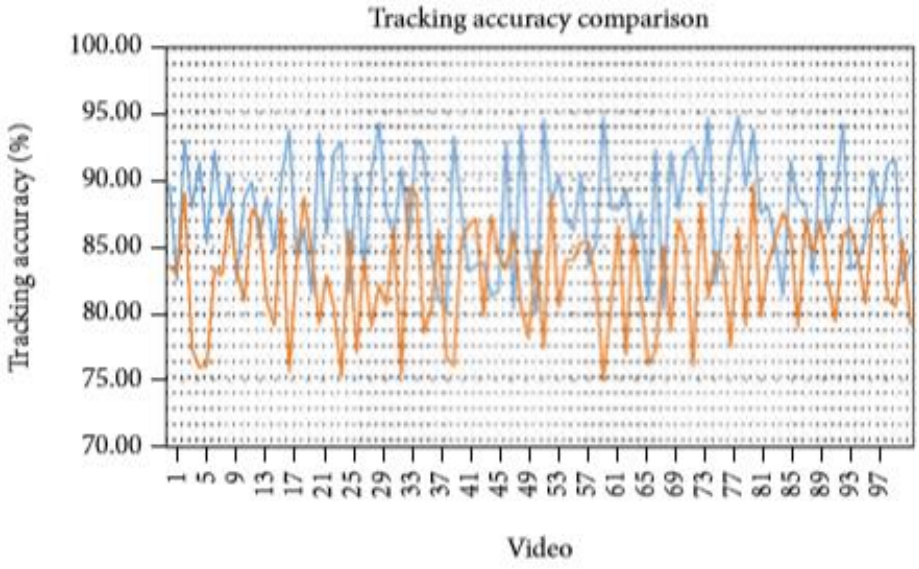
برای ارزیابی الگوریتم ها شاخص های زمان مصرف شده برای پردازش هر تصویر، همپوشانی موقعیت ها و خطای مرکزی وجود دارند که می توانند عملکرد الگوریتم ها را نشان دهند. هر چقدر الگوریتم زمان بیشتری را برای پردازش هر قاب صرف کند سرعت ردیابی کاهش می یابد (لی، 2022). شاخص همپوشانی هم می تواند نمودار الگوریتم را نشان دهد. مقایسه درجه همپوشانی و موقعیت هدف توسط قبل و بعد از بهبود الگوریتم در بخش ارزیابی مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت. همچنین شاخص خطای مرکزی یک شاخص پیشرفته می باشد که بر اساس مقایسه موقعیت عمل خواهد کرد که بین اتصال به مرکز و مرز قضاوت خواهد کرد.



شکل9: خطای مرکزی (لی،2022).



شکل 10: نمودار زمان پردازش بر روی هر قاب (لی، 2022).



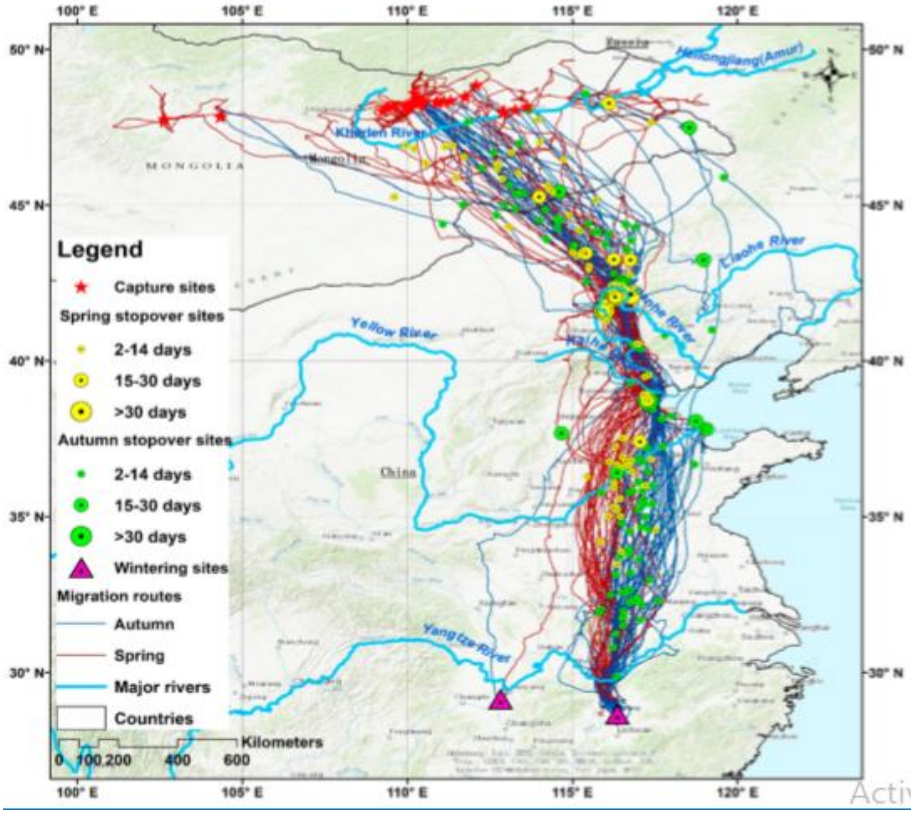
شکل 11: نمودار مقایسه دقت الگوریتم های بهبود یافته ردیابی (لی، 2022).

برای حذف افزونگی تصویر از هوش مصنوعی استفاده می شود و الگوریتم ردیابی با ترکیب فیلتر کالمن و تک هدف بهبود خواهد یافتو الگوریتم ردیابی بهبود یافته می تواند هدف مورد نظر را در روی تصاویر ماهواره ای به منظور رصد مسیر کوچ پرندگان برای تشخیص هدف گیری و قفل کرده و همچنین دقت ردیابی را هم ارتقا خواهد داد لی، 2022).

شناسایی مکان های زیستگاهی برای پرندگان آبزی و کنار آبزی

برخی پرندگان برای تامین غذا و نیاز های حیاتی مسافت های طولانی را طی خواهند کرد که تغییرات اقلیمی می تواند در توزیع، زمستان گذرانی و کوچ آنها اختلالاتی ایجاد کند (نیامبایار و همکاران. 2021). با استفاده از روش تله متری می توان استقرار پرندگان را در مکان های مطلوب آنان در زمان های مختلف را پایش کرد. ادغام روش تله متری و داده های

سنجش از دور می تواند اطلاعات بسیار دقیق تر و مفیدی را در اختیار محققان قرار دهد (کراوس و همکاران، 2013). استفاده از تکنیک سنجش از دور و امکان بررسی در مقیاس های مختلف می تواند شناسایی زیستگاه های بحرانی پرندگان را تسهیل بخشد. رایگان و دسترسی آسان به داده های سنجش از دور می تواند مدل سازی های تخصصی را برای متخصصان توسعه دهد (پیم و همکاران، 2015). با استفاده از پایش ایستگاه های بررسی توقف پرندگان، برچسب گذاری ها و مطالعه مناطق می توان مسیر ها را با استفاده از تصاویر ماهواره ای و نقشه های کاربری مناطق مورد تجزیه و تحلیل قرار داد (نیامبیار و همکاران، 2021).



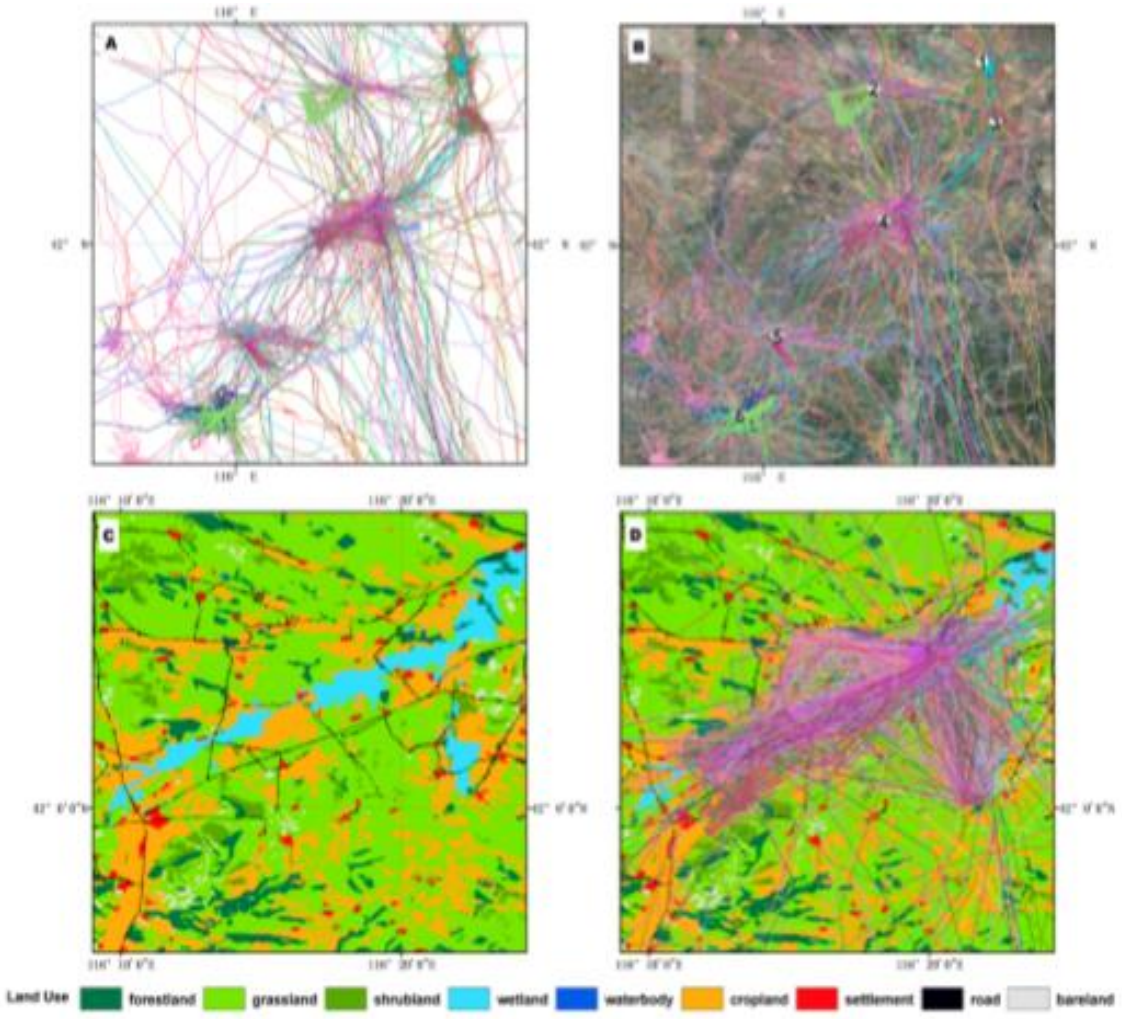
شکل 12: مسیر های کوچ بهار و پاییز گونه *Aped cranes* (نیامبایار و همکاران، 2021).

پارامتر های مربوط به کوچ و مقایسه آماری آنها

پارامتر های مدت زمان کوچ (روز)، فاصله کوچ (کیلومتر)، سرعت (کیلومتر در روز)، مدت زمان سفر (روز)، طول دوره کوچ (کیلومتر) و تعداد توقف ها با سنجش میانگین و انحراف معیار در بهار و پاییز و همچنین p-Value بررسی و مقایسه خواهند شد (نیامبایار و همکاران، 2021).

ضرورت پایش مسیر های کوچ و شناسایی مناطق مطلوب برای توقف پرندگان آبزی و کنار آبزی

پایش مسیر های کوچ پرندگان و همچنین مکان های مطلوب برای تامین نیاز های پرندگان می تواند اطلاعاتی را در خصوص وضعیت و مدیریت حفاظتی گونه ها، تعارضات مناطق با فعالیت های انسانی، اثرات تغییر اقلیم بر مناطق و اختلالات بر روی مسیر های کوچ و کیفیت آب را در اختیار متخصصان قرار دهد (نیامبایار و همکاران، 2021؛ ژانگ و همکاران، 2010؛ گو و همکاران ، 2012).



شکل 13: نمونه ای از ثبت مسیر های کوچ 39 پرنده (شکل A)، محل توزیع 6 سایت مهم بر روی تصویر ماهواره ای (شکلB)، نقشه کاربری (شکل C) و (شکل D) مسیر ها بر روی نقشه کاربری (نیامبایار و همکاران، 2021).

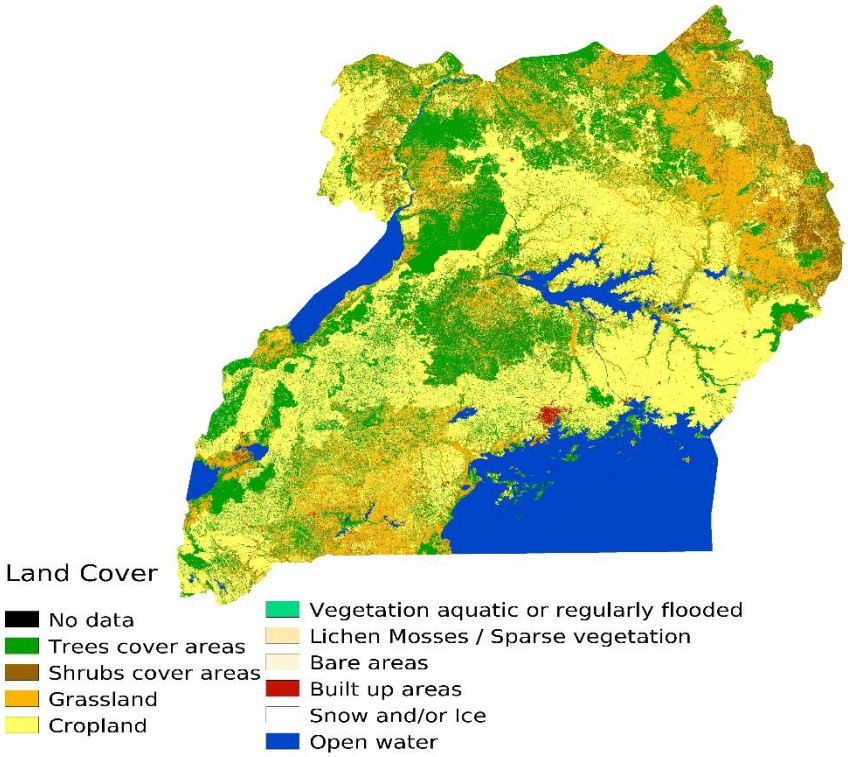
شناسایی گونه ها در فرآیند ردیابی مسیر پرندگان

یکی از مهمترین کلید های شناسایی و تمایز گونه ها برای محققان استفاده از الگو های حرکتی می باشد که می توان آنها را به صورت نقشه های شماتیک با نرم افزار ها به صورت دقیق ترسیم کرد. همچنین در فرآیند بررسی مسیر های کوچ و مکان های مطلوب برای توقف مواردی مانند نوع زیستگاه، جفت گیری، زادآوری و توقف زمستانی هم مورد بررسی دقیق

قرا خواهد گرفت (نیامبایار و همکاران،2021). موارد دیگری مانند کریدور های کوچ، زمان صرف شده در عرض های جغرافیایی و نقشه های برداری هم می تواند در شناسایی مکان های مطلوب زیستگاهی پرندگان به کار روند.

همپوشانی موقعیت گونه ها و پوشش زمین با استفاده از داده سنتینل-2

امروزه در محیط گوگل ارث انجین می توان به راحتی به داده های سنتینل-2 برای نوع پوشش کاربری زمین دسترسی داشت. سپس می توان موقعیت های ثبت شده گونه ها را با همپوشانی بر روی لایه های پوشش زمین نمایان کرد. برای سنجش تفاوت های فصلی گونه های پرنده در استفاده از زیستگاه می توان از آزمون آماری $\chi 2$ استفاده کرد (نیامبایار و همکاران، 2021).



شکل 41: نمونه ای از نقشه پوشش زمین با استفاده از داده های سنتینل-2 (اردو، 2021).

نتیجه گیری:

ردیابی مسیر های کوچ پرندگان و شناسایی مکان های مطلوب استقرار گونه های آبزی و کنار آبزی برای تامین نیاز های زیستی می تواند در برنامه ریزی های حفاظتی و مدیریتی و حتی در مواردی رفع تعارضات با فعالیت های انسانی اهمیت بسیاری داشته باشد. استفاده از روش های نوین به عنوان تکمیل کننده روش های سنتی می تواند از منظر بهینگی زمان و هزینه و همچنین دقت بالا مورد اهمیت واقع شود. سنجش از دور می تواند الگوریتم های ردیابی سنتی را تا حد امکان بهبود بخشد و برای محقق امکان مطالعه دقیق تر را فراهم کند. علاوه بر بهبود الگوریتم های سنتی، داده های ماهواره ای

می توانند در ادغام با روش هایی مثل تله متری و بررسی دقیق پوشش زمین فرآیند شناسایی مناطق مطلوب برای توقف پرندگان آبزی و کنار آبزی را هم تسهیل کند. بدیهی است که سنجش از دور هوشمند می تواند بسیاری از مطالعات حیاتی مربوط به محیط زیست را توسعه داده و برخی موانع را برای پژوهشگران این عرصه حذف نماید. در دنیای امروز یادگیری ماشین یکی از ابزار های مهم برای مطالعات علوم محیطی به شمار می رود.

منابع و مآخذ:

Ardö, J. A Sentinel-2 Dataset for Uganda. *Data* 2021, *6*, 35.

Liping Li and Chia-Huei Wu.Migration Path Tracking Algorithm of Egret Birds Based on Intelligent Remote Sensing Monitoring. Wirel. Commun. Mob. Comput. 2022 (2022). https://doi.org/10.1155/2022/4320297.

Batbayar, N.; Yi, K.; Zhang, J.; Natsagdorj, T.; Damba, I.; Cao, L.; Fox, A.D. Combining Tracking and Remote Sensing to Identify Critical Year-Round Site, Habitat Use and Migratory Connectivity of a Threatened Waterbird Species. Remote Sens. 2021, 13, 4049. https://doi.org/10.3390/ rs13204049.

Yi, K.; Zhang, J.; Batbayar, N.; Higuchi, H.; Natsagdorj, T.; Bysykatova, I.P. Using Tracking Data to Identify Gaps in Knowledge and Conservation of the Critically Endangered Siberian Crane (*Leucogeranus leucogeranus*). *Remote Sens.* 2022, *14*, 5101. https://doi.org/10.3390/rs14205101.

Zhang, Y.; Cao, L.E.I.; Barter, M.; Fox, A.D.; Zhao, M.; Meng, F.; Shi, H.; Jiang, Y.; Zhu, W. Changing distribution and abundance of Swan Goose Anser cygnoides in the Yangtze River floodplain: The likely loss of a very important wintering site. Bird Conserv. Int. 2010, 21, 36–48.

P. Busse, "Estimation of local heading patterns of nocturnal migrants using orientation cages," The Ring, vol. 40, no. 1, pp. 31–58, 2018.

Krause, J.; Krause, S.; Arlinghaus, R.; Psorakis, I.; Roberts, S.; Rutz, C. Reality mining of animal social systems. Trends Ecol. Evol. 2013, 28, 541–551.

H.Lu,Q.Liu,X.Liu,andY.Zhang,"Asurveyofsemanticconstruction and application of satellite remote sensing images and data," Journal of Organizational and End User Computing (JOEUC), vol. 33, no. 6, pp. 1–20, 2021.

Pimm, S.L.; Alibhai, S.; Bergl, R.; Dehgan, A.; Giri, C.; Jewell, Z.; Joppa, L.; Kays, R.; Loarie, S. Emerging technologies to conserve biodiversity. Trends Ecol. Evol. 2015, 30, 685–696.

Guo, H.; Hu, Q.; Zhang, Q.; Feng, S. Effects of the Three Gorges Dam on Yangtze River flow and river interaction with Poyang Lake, China: 2003–2008. J. Hydrol. 2012, 416, 19–27.

McGowan, J.; Beger, M.; Lewison, R.L.; Harcourt, R.; Campbell, H.; Priest, M.; Dwyer, R.G.; Lin, H.Y.; Lentini, P.; Dudgeon, C.; et al. Integrating research using animal-borne telemetry with the needs of conservation management. J. Appl. Ecol. 2017, 54, 423–429.

Gharibbafghi, Z.; Tian, J.; Reinartz, P. Modified Superpixel Segmentation for Digital Surface Model Refinement and Building Extraction from Satellite Stereo Imagery. *Remote Sens.* 2018, *10*, 1824. https://doi.org/10.3390/rs10111824.

S. Shen, P. Yue, and C. Fan, "Quantitative assessment of land use dynamic variation using remote sensing data and landscape pattern in the Yangtze River Delta, China," Sustainable Computing-Informatics & Systems, vol. 23, pp. 111–119, 2019.

S. Riad, "Quantity of spring migration of migratory soaring birds over the Eastern Desert of Egypt," Egyptian Academic Journal of Biological Sciences B Zoology, vol. 12, no. 2, pp. 161–171, 2020.

Y. Chen, Y. Li, and J. Wang, "Remote aircraft target recognition method based on superpixel segmentation and image reconstruction," Mathematical Problems in Engineering, vol. 2020, 9 pages, 2020.

Y. M. Dong, M. Li, Q. E. He et al., "Epigenome-wide tobaccorelated methylation signature identification and their multilevel regulatory network inference for lung adenocarcinoma," BioMed Research International, vol. 2020, 12 pages, 2020.

M. Guo and S. Wang, "Remote sensing monitoring and ecological risk assessment of landscape patterning in the agropastoral ecotone," Complexity, vol. 2021, 13 pages, 2021.

P. Quesada-Barriuso, D. B. Heras, and F. Argüello, "GPU accelerated waterpixel algorithm for superpixel segmentation of hyperspectral images," The Journal of Supercomputing, vol. 77, no. 9, pp. 10040–10052, 2021.

M. K. Yuan, L. Q. Dai, D. M. Yan, L. Q. Zhang, J. Xiao, and X. P. Zhang, "Fast and error-bounded space-variant bilateral filtering," Journal of Computer Science and Technology, vol. 34, no. 3, pp. 550–568, 2019.

Alerstam, T.; Backman, J. Ecology of animal migration. Curr. Biol. 2018, 28, R968–R972.

E. Dong, M. Deng, J. Tong, C. Jia, and S. du, "Moving vehicletrackingbasedonimprovedtracking–learning detectionalgorithm,"IETComputerVision,vol.13,no.8,pp.730–741,2019.

L.Yao,D.Hu,C.Zhao,Z.Yang,andZ.Zhang,“Wirelesspositioning and path tracking for a mobile platform in greenhouse,” International Journal of Agricultural and Biological Engineering, vol. 14, no. 1, pp. 216–223, 2021.

Carter, M.I.D.; Cox, S.L.; Scales, K.L.; Bicknell, A.W.J.; Nicholson, M.D.; Atkins, K.M.; Morgan, G.; Morgan, L.; Grecian, W.J.; Patrick, S.C.; et al. GPS tracking reveals rafting behaviour of Northern Gannets (Morus bassanus): Implications for foraging ecology and conservation. Bird Study 2016, 63, 83–95.

N. Zendehdel and M. Gholami, “Robust self-adjustable pathtrackingcontrolforautonomousunderwatervehicle,”International Journal of Fuzzy Systems, vol. 23, no. 2, pp. 6-7, 2020.

P. Panda and M. Barczyk, “Blending of learning-based tracking and object detection for monocular camera-based target following - ScienceDirect,” IFAC-PapersOnLine, vol. 54, no. 9, pp. 743–748, 2021.