اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ و ۳۰ دی ماه ۱۳۹۴

The 1st National Conference on
Geospatial Information Technology
K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering
19 - 20 January 2016

ترکیب طبقه‌بندی کننده‌ها بر اساس آنالیز عدم قطعیت

روزبه خان‌بلوکی[1*]، مهدی مختارزاده[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی roozbeh.khanbolooki@yahoo.com
۲- استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی m_mokhtarzade@kntu.ac.ir

چکیده :

یک روش مؤثر برای افزایش کارایی سیستم‌های بازشناسایی الگو، استفاده از ترکیب نتایج طبقه‌بندی کننده‌ها می‌باشد که در سال‌های اخیر توجه محققین را به خود جلب کرده است. طبقه‌بندی مرکب، شامل تعدادی طبقه‌بندی کننده می‌باشد که تصمیمات منفرد هرکدام از آن‌ها، به روش‌های مختلف با یکدیگر ترکیب می‌شوند. برای آنکه ترکیب طبقه‌بندی کننده‌ها نتایج قابل‌قبولی داشته باشد باید طبقه‌بندی کننده‌ها مکمل و دارای خطای مستقل باشند. همچنین طبقه‌بندی کننده‌های منفرد از کارایی مناسبی برخوردار باشد. در این مقاله روشی جدیدی برای ترکیب خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها پیشنهادشده است که در آن با استفاده از آنالیز عدم قطعیت‌ها، خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها باهم ترکیب می‌شوند. در این روش برای اطلاع از عدم قطعیت‌ها، از معیار آنتروپی استفاده‌شده است. با اجرای طبقه‌بندی کننده‌های منفرد بیشترین شباهت، ماشین بردار پشتیبان، شبکه‌های عصبی و جنگل تصادفی، خروجی نتایج بر اساس آنالیز عدم قطعیت در ترکیبات مختلف طبقه‌بندی کننده‌ها، باهم ترکیب شدند. این آزمایش بر روی تصویر آیکونوس (نیمه‌شهری) بررسی شد. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی ترکیب در حالت ترکیب چهارتاییSVM, NN, RF (ML)، نسبت به ترکیبات دوتایی و سه‌تایی طبقه‌بندی کننده‌های مختلف و نیز طبقه‌بندی کننده‌های منفرد دارای دقت بهتری می‌باشد. دراین‌بین برای طبقه‌بندی کننده‌های بیشترین شباهت، ماشین بردار پشتیبان، شبکه‌های عصبی، جنگل تصادفی و روش پیشنهادی ترکیب در حالت ترکیب چهارتایی، به ترتیب دقت کلی برابر ۷۷.۹۵٪، ۸۰.۰۱٪، ۷۹.۷۰٪، ۸۰.۵۶٪ و ۸۲.۸۹٪ حاصل شد. در پایان روش پیشنهادی ترکیب (حالت چهارتایی) با روش معمول رأی اکثریت با دقت کلی معادل ۸۱.۹۲ درصد، مقایسه شد. مقایسه دقت روش پیشنهادی بیانگر برتری این روش نسبت به روش رأی اکثریت می‌باشد. با توجه به نتایج، روش پیشنهادی ترکیب می‌تواند منجر به افزایش دقت طبقه‌بندی کننده‌ها شود؛ بنابراین از این روش می‌توان به‌عنوان یک قانون جدید برای ترکیب خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها، استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی : الگوریتم بیشترین شباهت، ماشین بردار پشتیبان، شبکه‌های عصبی، جنگل تصادفی، آنالیز عدم قطعیت

نویسنده مکاتبه کننده : روزبه خان‌بلوکی
آدرس پستی : تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه برداری
تلفن : ۰۹۱۸۹۵۷۸۸۵۲
آدرس پست الکترونیک : Roozbeh.Khanbolooki@yahoo.com

۱- مقدمه

به‌منظور استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای می‌توان از روش‌های طبقه‌بندی استفاده کرد. طبقه‌بندی یکی از حوزه‌های تحقیقاتی مهم در سنجش‌ازدور می‌باشد. کلیه روش‌های طبقه‌بندی به دنبال کشف عارضه‌ای (کلاسی) هستند که پیکسل موردنظر را با حداکثر اطمینان و مقبولیت به آن نسبت دهند. به‌عبارتی‌دیگر، طبقه‌بندی یک فرآیند تصمیم‌گیری است که مقادیر پیکسل‌ها در تصویر اولیه را باکلاس‌های نهایی جایگزین می‌کند و منجر به تولید یک نقشه‌ی موضوعی می‌شود [۲،۱].

روش‌های طبقه‌بندی به‌طورکلی برحسب ماهیتی که دارند با سه دیدگاه تقسیم‌بندی می‌شوند، بطوریکه می‌توان برحسب نوع آموزش، به دودسته نظارت‌شده و نظارت‌نشده، برحسب فرضیات روش مورداستفاده، به دودسته‌ی پارامتریک یا غیر پارامتریک و برحسب تعداد برچسب‌های خروجی، به دودسته طبقه‌بندی سخت و طبقه‌بندی نرم تقسیم‌بندی کرد [۱].

در حوزه‌ی طبقه‌بندی، تحقیقات زیادی صورت گرفته است که در اکثر موارد از یک روش برای طبقه‌بندی کل تصویر استفاده‌شده است. ازآنجایی‌که همه‌ی روش‌های طبقه‌بندی با داده‌ی آموزشی یکسان نتایج متفاوتی را ارائه می‌دهند؛ لذا هیچ طبقه‌بندی کننده‌ای کامل و بدون نقص نیست [۳]. بدین معنی که هیچ طبقه‌بندی کننده‌ای وجود ندارد که یک حجم داده محدود به یک‌راه حل بهینه برای مسئله موردنظر منجر شود. با توجه به مطالب گفته‌شده و نیز با توجه به اینکه ترکیب نتایج طبقه‌بندی کننده‌ها می‌تواند کارایی سیستم الگو را، به‌خصوص در مورد الگوهای پیچیده بهبود بخشد [۴]، این انگیزه می‌تواند شکل بگیرد؛ که بجای استفاده از یک طبقه‌بندی کننده از چندین طبقه‌بندی کننده استفاده شود؛ بطوریکه نتایج روش‌های تکی با یکدیگر ترکیب شوند.

پژوهشگران حوزه‌های مختلف ازجمله بازشناسایی الگو، یادگیری ماشین و آمار، استفاده از ترکیب طبقه‌بندی کننده‌ها را بررسی کرده‌اند و بانام‌های Classifier Fusion, Decision Fusion, Classifier Ensembles, Multiple Expert, Combining classifiers Hybrid Methodsیادکرده‌اند [۵،۶]. شاید یکی از اولین پژوهش‌ها در حوزه‌ی ایجاد ترکیب طبقه‌بندی کننده‌ها توسط Dasarathy و Sheela در سال ۱۹۷۹ میلادی باشد که بر تقسیم فضای ویژگی با استفاده از دو یا چند طبقه‌بندی کننده بحث می‌کند [۷]. بااین‌حال پیشرفت اصلی در این حوزه، توسط Salamon و Hansen در سال ۱۹۹۰ مطرح گردید [۸]. نبوی کریزی و کبیر اولین مقاله‌ی فارسی در این حوزه را ارائه نمود و روش‌های ترکیب خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها را معرفی کرده‌اند [۹]. همچنین مقصودی در سال ۲۰۰۹ ضمن معرفی روش‌های ایجاد مختلف ترکیب خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها، روشی برای طبقه‌بندی تصاویر ابر طیفی با استفاده از استخراج ویژگی و ترکیب طبقه‌بندی کننده‌ها استفاده نمود [۱۰].

Hai Tung CHU و Linlin GE در سال ۲۰۱۲ تحقیقی درزمینه‌ی ترکیب طبقه‌بندی کننده‌ها انجام دادند. آن‌ها خروجی نتایج حاصل از الگوریتم‌های منفرد SVM, NN,[۱]SOM را با روش‌های ترکیب مبتنی الگوریتم Bagging، Boosting، تئوری دمپستر-شفر، رأی اکثریت و قوانین جمع[۲]، ترکیب کردند [۱۱]. در این تحقیق روش‌های ترکیبی، نتایج بهتری نسبت به طبقه‌بندی کننده‌های منفرد ارائه دادند.

همچنین مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۵ توسط Bin Yang و همکارانش بر روی ترکیب طبقه‌بندی کننده‌ها انجام گرفت [۱۲]. در این تحقیق با به‌کارگیری طبقه‌بندی کننده‌های پایه ML, SVM, NN,[۳]FCM,[۴]MID اقدام به ترکیب

---

۱ Self-Organizing Map
۲ Sume Rule
۳ fuzzy c-mean classifier
۴ Minimum Distance

خروجی‌ها در سطح اندازه‌گیری (میانگین بیزین)، سطح مفهوم (رأی اکثریت نسبی) و نیز یک روش جدید بنام میانگین وزن‌دار بر اساس آنالیز سلسله مراتبی[۵] (WA-AHP) شد. نتایج نشان داد که ترکیب خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها در هر سه حالت منجر به بهبود نتایج شده‌اند.

به‌منظور بهبود نتایج طبقه‌بندی، مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۵ توسط Nasru Minallah و همکارانش انجام گرفت که در آن، خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها بر اساس میانگین‌گیری احتمالات[۶] باهم ادغام شدند [۱۳]. در این مطالعه، از روش‌های طبقه‌بندی NN-MLP, RF, SVM[۷] به‌عنوان طبقه‌بندی کننده‌ی پایه استفاده شد. نتایج نشان داد که ترکیب خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها می‌تواند منجر به بهبود دقت طبقه‌بندی کننده‌ها شوند. همچنین در [۱۳،۱۴،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸] نشان داده شد که استراتژی ترکیب طبقه‌بندی کننده‌ها باعث بهبود نتایج طبقه‌بندی می‌شود.

بررسی کلی تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که در این روش‌ها استفاده از مفاهیم عدم قطعیت نتایج طبقه‌بندی کننده‌ها برای ترکیب خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها موردتوجه قرار نگرفته است. ازآنجایی‌که اطلاع از عدم قطعیت و استفاده از آن در فرآیند طبقه‌بندی می‌توان باعث بهبود دقت طبقه‌بندی شود [۱۹]؛ این انگیزه به وجود می‌آید که روشی مبتنی بر آنالیز عدم قطعیت برای ترکیب خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها مطرح شود.

این مقاله شامل پنج بخش می‌باشد. بخش اول که ازنظر گذشت شامل مقدمه، پیشینه‌ی تحقیق، انگیزه و هدف تحقیق بود. در بخش دوم مبانی نظری تحقیق، بیان‌شده و بخش سوم به معرفی روش انجام تحقیق اختصاص‌یافته است. در بخش چهارم پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج انجام می‌شود و در بخش پنجم نتیجه‌گیری پژوهش پیش رو ارائه می‌گردد.

۲- مبانی نظری ترکیب طبقه‌بندی کننده‌ها

۲-۱- ترکیب طبقه‌بندی کننده‌ها

ترکیب طبقه‌بندی کننده‌ها شامل دو بخش اصلی است. بخش اول شامل ایجاد طبقه‌بندی کننده‌های کارا و مناسب، انتخاب نوع طبقه‌بندی کننده‌ها و تعداد طبقه‌بندی کننده‌ها می‌باشد. بخش دوم شامل قواعد ترکیب و الگوریتم‌های تلفیق تصمیم‌گیری می‌باشد. هر دو بخش روی کارایی ترکیب تأثیر مستقیمی دارند. تحقیقات انجام‌شده بیشتر روی قواعد ترکیب تمرکز داشته‌اند نحوه‌ی ترکیب خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها وابسته به کاربرد و نیازمندی‌های مسئله می‌باشد [۲۰]. روش‌ها و قواعد مختلفی برای ترکیب نتایج خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها وجود دارد که در ادامه به برخی این موارد اشاره خواهد شد.

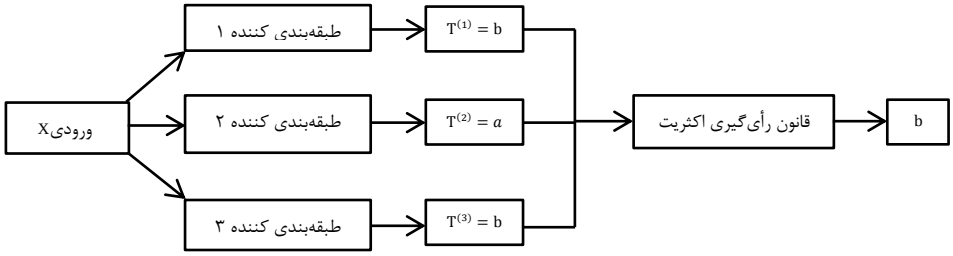
۲-۲- روش‌های ترکیب خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها

به‌طورکلی روش‌هایی که برای ترکیب خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها بکار می‌روند بسته به نوع خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها، می‌توان در سه سطح مفهوم (رأی اکثریت، رأی اکثریت به‌صورت وزن‌دار، روش‌های مبتنی بر تئوری بیز)، سطح رتبه و سطح اندازه‌گیری (استفاده از تکنیک‌های آماری نظیر میانگین هندسی، میانگین حسابی، ماکزیمم، مینیمم) مطرح کرد. از میان این سه سطح، سطح اندازه‌گیری دارای بیشترین اطلاعات و سطح مفهوم دارای کمترین اطلاعات می‌باشد. پردازش در سطح اندازه‌گیری یک مرحله میانی در بیشتر طبقه‌بندی کننده‌ها باشد و همچنین بیشتر الگوریتم‌های طبقه‌بندی قادرند که اطلاعات خروجی از سطح اندازه‌گیری را تولید کنند [۱۰،۱۲،۲۱،۲۲،۲۳]. در این مقاله از روش رأی اکثریت برای مقایسه با روش پیشنهادی ترکیب استفاده شد. لذا در ادامه توضیحاتی در مورد این روش ارائه می‌گردد.

---

[۵] Weighted Average _ Analytic Hierarchy Process
[۶] Average probabilities
[۷] Neural Network _ Multilayer Perceptron

اگر خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها برای نمونه x به‌صورت $T^{(1)}, T^{(2)}, T^{(3)}, \dots T^{(N)}$ باشند، آنگاه کلاسی به‌عنوان کلاس نهایی انتخاب می‌شود که دارای بیشترین رأی در بین خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها باشد. در این روش خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها به‌طور یکسان باهم ترکیب می‌شوند [۲۴]. در شکل (۱) نمونه‌ای از رأی اکثریت برای سه کلاس را نشان می‌دهد.



شکل (۱): نمونه‌ای از رأی اکثریت

۲-۳- نیازهای اساسی برای ترکیب طبقه‌بندی کننده‌ها

همان‌طور که ذکر شد، ترکیب طبقه‌بندی کننده‌ها می‌تواند برای بهبود نتایج طبقه‌بندی مفید باشند اما لزوماً کارایی یک سیستم ترکیب، از کارایی بهترین طبقه‌بندی کننده‌های موجود در سیستم بهتر نیست [۲۵]. برای اینکه ترکیب خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها مفید واقع شوند، باید نیازهای خاصی برآورد شوند [۹].

- ✓ اولین نیاز، به‌کارگیری یک چارچوب ریاضی مناسب برای قاعده ترکیب است تا به طریقی از نقاط قوت طبقه‌بندی کننده‌ها استفاده و از نقاط ضعف آن‌ها پرهیز شود.
- ✓ دومین نیاز، وجود تعدادی طبقه‌بندی کننده‌های منفرد با کارایی قابل‌قبول و نسبتاً مستقل از یکدیگراست.

۲-۴- آنالیز عدم قطعیت

طبقه‌بندی تصاویر مهم‌ترین مرحله از فرایند سنجش‌ازدور است که در بحث عدم قطعیت موردتوجه قرارگرفته است [۲۶]. در هر یک از مراحل طبقه‌بندی، عوامل مختلفی منجر به ایجاد عدم قطعیت شده و به‌طور مستقیم نتیجه تفسیر این تصاویر را دچار خطا می‌نماید. ازاین‌رو سعی می‌شود به‌طور دقیق هر گام بررسی‌شده و به عوامل ایجادکننده عدم قطعیت توجه شود [۲۷،۲۸،۲۹،۳۰،۳۱]:

- **مرحله اول: تعریف کلاس**
  - ✓ عدم کافی بودن تعداد کلاس‌ها
  - ✓ تعریف غیردقیق از کلاس‌ها
  - ✓ وجود کلاس‌های مختلط و پیچیده
- **مرحله دوم: داده‌های آموزشی**
  - ✓ کافی نبودن تعداد نمونه‌های آموزشی
  - ✓ وجود نویز در این نمونه‌ها و انتخاب نمونه‌های مختلط
  - ✓ توزیع نامناسب نمونه‌ها در سطح کلاس‌ها
- **مرحله سوم: تخمین پارامترها**
  - ✓ در نظر گرفتن پیش‌فرض‌های خاص در طبقه‌بندی
  - ✓ تخمین غیردقیق پارامترهای طبقه‌بندی کننده
  - ✓ استفاده از الگوریتم‌های نامناسب طبقه‌بندی

- **مرحله چهارم: برچسب دهی**

✓ استراتژی نامناسب در خصوص تصمیم‌گیری در مورد برچسب پیکسل‌ها
✓ استفاده از پس پردازش‌های نامناسب
✓ استفاده از سطوح آستانه غیردقیق

برای انجام آنالیز عدم قطعیت معیارهای مختلف نظیر RMSE[۸], MRE[۹], LCC[۱۰], RMD[۱۱], ENTROPY وجود دارد [۳۲،۳۳،۳۴،۳۵]. معیار انتخابی برای آنالیز عدم قطعیت در این مقاله معیار آنتروپی می‌باشد. آنتروپی میزان تصادفی بودن و یا اتفاقی بودن یک پدیده را نشان می‌دهد. این مفهوم برای نخستین بار توسط شانون (تئوری آنتروپی شانون) در حوزه تئوری اطلاعات تحت عنوان آنتروپی اطلاعاتی در سال ۱۹۴۸ مطرح گردید [۳۵]. آنتروپی در یک عدد می‌تواند منعکس‌کننده‌ی عدم قطعیت در نتایج طبقه‌بندی باشد. به‌عبارت‌دیگر می‌توان گفت این پارامتر اطلاعات قابل‌استخراج از بردار احتمال در مورد عدم قطعیت را در یک عدد خلاصه می‌کند. این معیار به‌صورت زیر تعریف می‌شود [۲۷،۳۵].

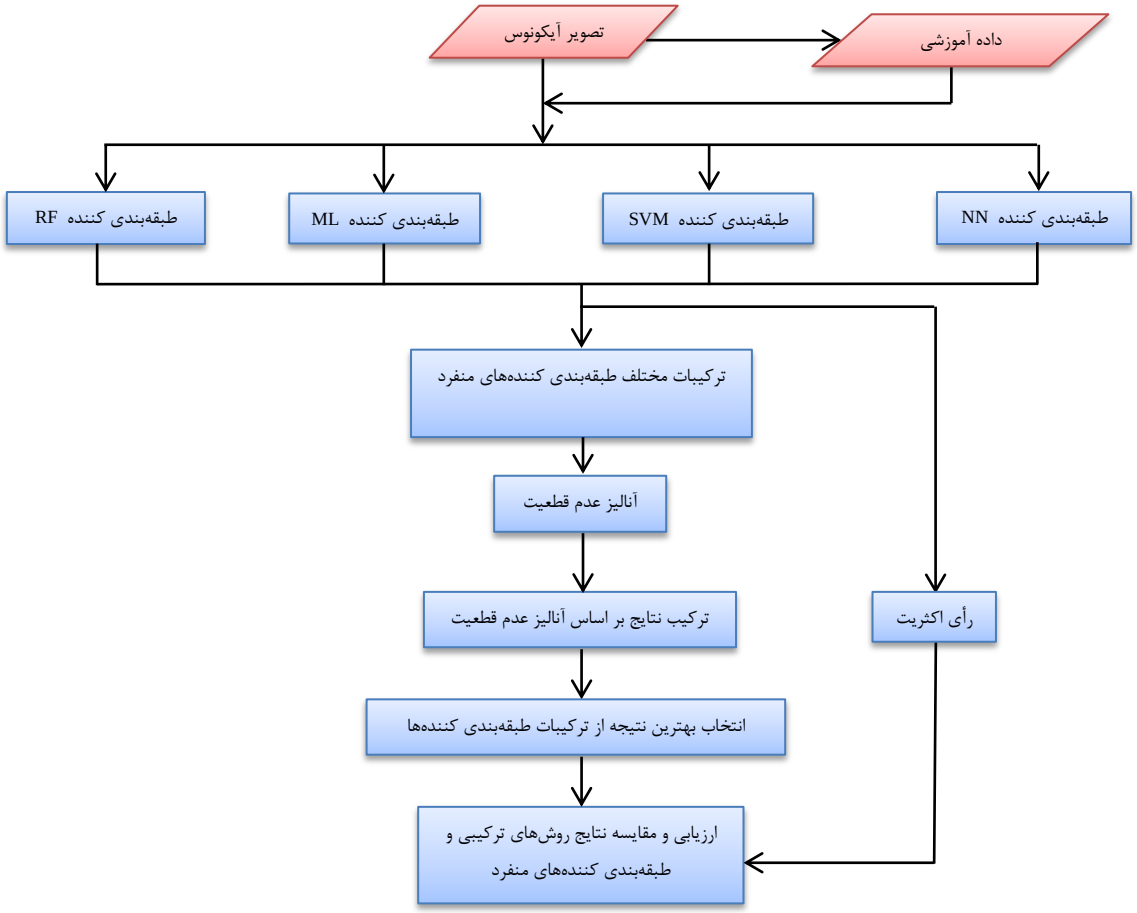
$$H(X) = -\sum_{i=1}^{k} p(x_i)\log_2 p(x_i) \quad , \quad i = 1,2,3,\dots,k \quad \& \quad p(x_i) = \left[p(x_1), p(x_2), p(x_3) \dots p(x_K)\right]$$

که در آن $p(x_i)$ احتمال وقوع (همان درجه تعلقات حاصل از طبقه‌بندی کننده‌ها می‌باشد) یک پدیده را نشان می‌دهد و K تعداد کلاس‌ها می‌باشد.

۳- روش انجام تحقیق

محوریت اصلی این تحقیق، ارائه یک روش جدید برای ترکیب خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها بر اساس آنالیز عدم قطعیت می‌باشد. شکل (۲) مراحل کلی تحقیق را نشان می‌دهد.

---
۱ Root mean square error
۲ Mean relative error
۳ Linear correlation coefficient
۴ Relative Maximum Deviation



شکل (۲): فلوچارت کلی تحقیق

با اجرای طبقه‌بندی کننده‌های منفرد بیشترین شباهت[۱۲]، ماشین بردار پشتیبان[۱۳]، شبکه‌های عصبی[۱۴] و جنگل تصادفی[۱۵]، ترکیبات مختلف از طبقه‌بندی کننده‌های اولیه ایجاد می‌شوند. سپس با داشتن درجه تعلقات کلیه روش‌های طبقه‌بندی، اقدام به آنالیز عدم قطعیت توسط معیار آنتروپی خواهد شد. درنهایت در تمامی ترکیبات مختلف ایجادشده، برای هر پیکسل روشی که منجر به آنتروپی کمتری گردد، برچسب خود را به آن پیکسل نسبت می‌دهد. در پایان از بین ترکیبات طبقه‌بندی ایجادشده، بهترین ترکیب با دقت بالاتر انتخاب شده و با روش‌های طبقه‌بندی کننده‌های منفرد و نیز روش معمول رأی اکثریت (تعداد طبقه‌بندی کننده‌های منفرد مورد استفاده در این روش بستگی به انتخاب بهترین ترکیب طبقه‌بندی کننده‌ها (دوتایی یا سه‌تایی یا چهارتایی) دارد) مقایسه می‌شود.

۴- پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

۴-۱- زیر عنوان

- ✓ منطقه موردمطالعه و تصویر ورودی:

تصویر استفاده‌شده (شکل (۳)) در این تحقیق مربوط به یک منطقه نیمه‌شهری (آیکونوس) در کشور تاسمانیا شهر هوبارت هست که از سایت ISPRS قابل دانلود می‌باشد. این تصویر ۴ باند طیفی (R, G, B, NIR) و ۱ باند پانکروماتیک و نیز دارای دقت رادیومتریکی ۱۱ بیت می‌باشد. برای استفاده از قابلیت مکانی باند Pan و قابلیت چند

[۱] Maximum Likelihood (ML)
[۲] Support Vector Machines (SVM)
[۳] Neural Network (NN)
[۴] Random Forest (RF)

طیفی به‌صورت همزمان از الگوریتم Pan Sharpening و روش Sharpening Gram Scmidt - Spectral استفاده شد که این روش بهترین نتیجه را هم ازنظر معیار مکانی و طیفی، ارزیابی بصری و نیز زمان پردازش ارائه داد. همچنین عمل تصحیح هندسی بر روی تصویر انجام شد که RMSE مربوط به تصحیح هندسی برابر ۰.۳۲۹۷ متر به دست آمد.

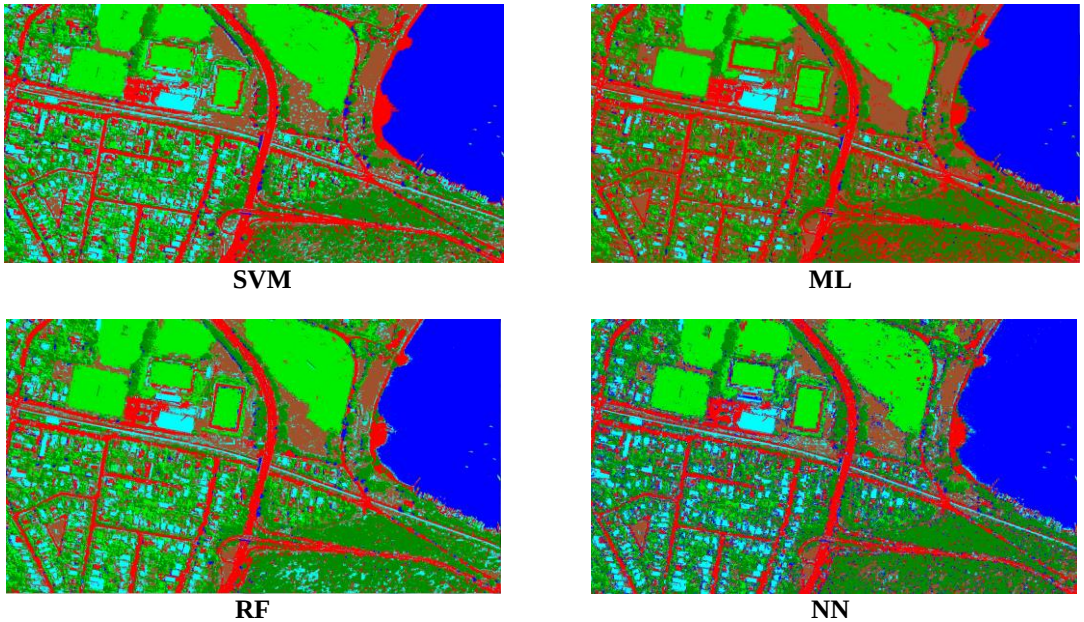
شکل (۳): تصویر منطقه موردمطالعه

✓ کلاس‌های موردنظر:

داده‌های آموزشی و تست در شش کلاس (آب، خاک، جاده، ساختمان، چمن، درخت)، انتخاب شدند. تعداد داده‌های آموزشی و تست باهم خیلی اختلاف نداشته و در کل تصویر از پراکندگی مناسبی برخوردارند.

۴-۲- طبقه‌بندی کننده‌های اولیه

با اجرای طبقه‌بندی کننده‌های اولیه، درجه تعلق تمامی پیکسل‌ها در هر چهار روش ML, NN, SVM و RF محاسبه شدند. نتیجه نهایی (شکل (۴)) و ارزیابی دقت این طبقه‌بندی کننده‌ها در جدول (۱) ارائه‌شده است.



شکل (۴): نتیجه حاصل از طبقه‌بندی کننده‌های منفرد

جدول (۱): ارزیابی دقت طبقه‌بندی کننده‌های منفرد

نتایج	ML	NN	SVM	RF
دقت کلی (٪)	۷۷.۹۵	۷۹.۷۰	۸۰.۰۱	۸۰.۵۶
ضریب کاپا (٪)	۰.۷۳۴	۰.۷۵۱	۰.۷۶۰	۰.۷۶۷

نتیجه حاصل از جدول (۱) نشان می‌دهند که روش RF و ML به ترتیب دارای بیشترین و کمترین دقت می‌باشد. بطوریکه دقت حاصل برای روش ML برابر ۷۷.۹۵ درصد و برای روش RF معادل ۸۰.۵۶ درصد به دست آمد؛ بنابراین ثابت می‌شود که طبقه‌بندی کننده‌ها با داده‌ی آموزشی یکسان نتایج متفاوتی می‌دهند لذا طبقه‌بندی کننده‌ها کامل نیستند. بدین معنا هر طبقه‌بندی کننده‌ای دارای یک سری نقاط قوت و ضعف می‌باشد؛ بنابراین با ترکیب طبقه‌بندی کننده‌هایی که دارای نقاط ضعف یکسان نبوده و نقطه‌ضعف یکی، نقطه قوت دیگری باشد دقت طبقه‌بندی را می‌تواند افزایش دهد.

باملاحظه شکل (۴) می‌توان گفت در کلیه روش‌ها، برخی از مناطق اشتباه طبقه‌بندی‌شده‌اند. همچنین در برخی دیگر از مناطق پیکسل‌ها به‌صورت نویز (فلفل نمکی) می‌باشند. به‌عنوان‌مثال طبقه‌بندی کننده‌ی ML، در مناطق جنگلی و شهری ضعیف عمل نموده است؛ بطوریکه پیکسل‌های زیادی از مناطق جنگلی به کلاس جاده منتسب شده‌اند. در روش RF نیز برخی پیکسل‌های کلاس ساختمان در مناطق جنگلی ظاهرشده‌اند. در مقابل، روش‌های NN و SVM در مناطق جنگلی بهتر عمل نموده‌اند؛ بنابراین الگوهایی (پیکسل‌هایی) که در روش‌های ML و RF به‌اشتباه طبقه‌بندی‌شده‌اند، در روش‌های NN و SVM به‌درستی طبقه‌بندی‌شده‌اند (در برخی مناطق دیگر این موضوع می‌تواند بالعکس باشد). روش NN، نسبت به سایر روش‌های دیگر در استخراج کلاس ساختمان توانایی بیشتری داشته است؛ اما تک پیکسل‌های زیادی از کلاس آب در سرتاسر تصویر ظاهر شدند که خیلی منطقی نیست. لذا با ترکیب خروجی طبقه‌بندی کننده‌های منفرد می‌توان الگوهایی که به‌درستی طبقه‌بندی نشده‌اند را بهبود بخشید.

به‌طورمعمول پیکسل‌هایی که به‌درستی طبقه‌بندی نشده‌اند دارای عدم قطعیت می‌باشند که این عدم قطعیت‌ها می‌تواند در مراحل مختلف طبقه‌بندی (تعیین کلاس‌ها، انتخاب نمونه‌های آموزشی، تخمین پارامترها، برچسب‌زنی و غیره) ایجاد شود. لذا با شناسایی عدم قطعیت‌های موجود در نتایج طبقه‌بندی کننده‌ها و ترکیب نتایج بر اساس آنالیز عدم قطعیت، این امید وجود دارد الگوهایی که در طبقه‌بندی کننده‌های منفرد به‌درستی طبقه‌بندی نشده‌اند با انجام این ترکیب بهبود بخشیده شوند.

۴-۳- ترکیب خروجی‌ها بر اساس آنالیز عدم قطعیت

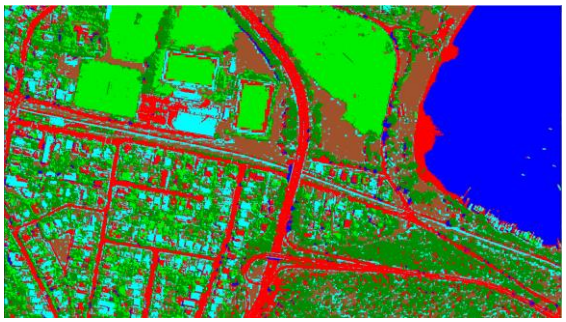
به‌منظور بررسی دقیق‌تر روش پیشنهادی ترکیب، ترکیبات مختلفی از طبقه‌بندی کننده‌ها موردبررسی قرار گرفتند. این ترکیبات شامل دسته‌های مختلف دوتایی، سه‌تایی و چهارتایی از طبقه‌بندی کننده‌ها منفرد می‌باشد. با داشتن درجه تعلقات مربوط به روش‌های مختلف NN, SVM, RF و ML، اقدام به آنالیز عدم قطعیت (توسط معیار آنتروپی) بر روی تمامی ترکیبات مختلف طبقه‌بندی کننده‌ها شد (بسته به نوع ترکیب طبقه‌بندی کننده‌ها، هر پیکسل دارای دو، سه و یا چهار مقدار آنتروپی می‌باشد). درنهایت با داشتن آنتروپی، برای هر پیکسل روشی که منجر به آنتروپی کمتری گردد، برچسب خود را به آن پیکسل نسبت می‌دهد. نتیجه به‌دست‌آمده برای تمامی ترکیبات در جدول (۲) ارائه‌شده است.

جدول (۲): ارزیابی دقت مربوط به ترکیبات طبقه‌بندی کننده‌ها

شماره ترکیبات	ترکیبات	ترکیب خروجی‌ها بر اساس آنالیز عدم قطعیت	
		دقت کلی (٪)	ضریب کاپا (٪)
۱	ML+NN	۷۹.۷۲	۰.۷۵۱
۲	ML+SVM	۸۰.۱۲	۰.۷۶۱
۳	ML+RF	۸۰.۶۲	۰.۷۶۸
۴	NN+SVM	۸۰.۲۷	۰.۷۶۴
۵	NN+RF	**۸۰.۹۸**	**۰.۷۷۲**
۶	SVM+RF	۸۰.۸۷	۰.۷۷۰

۷	ML+NN+SVM	۸۱.۲۹	۰۷۷۵
۸	NN+SVM+RF	۸۲.۰۲	۰.۷۸۲
۹	ML+SVM+RF	۸۱.۸۵	۰.۷۸۰
۱۰	ML+NN+RF	۸۱.۴۵	۰.۷۷۸
۱۱	ML+SVM+NN+RF	۸۲.۸۹	۰.۷۸۹

نتیجه ارائه‌شده در جدول (۲) نشان می‌دهد که ترکیب خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها بر اساس آنالیز عدم قطعیت باعث بهبود دقت طبقه‌بندی می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود دقت طبقه‌بندی در ترکیبات دوتایی طبقه‌بندی کننده‌ها نسبت به طبقه‌بندی کننده‌های منفرد، بهبود اندکی را حاصل نمود. دراین‌بین ترکیب دوتایی NN و RF با دقت کلی ۸۰.۹۹ درصد و ضریب کاپای ۰.۷۷۱ درصد، دارای بیشترین دقت می‌باشد. برای ترکیبات سه‌تایی نیز بهبود دقت طبقه بندی در تمامی حالات مشاهده شد. در این ترکیبات تقریباً بهبود قابل قبولی به دست آمد. از بین ترکیبات سه‌تایی، ترکیب NN, SVM و RF به‌عنوان بهترین ترکیب با دقت کلی ۸۲.۰۲ درصد و ضریب کاپای ۰.۷۹۵ درصد، مشاهده شد. در پایان با بررسی ترکیب چهارتایی طبقه‌بندی کننده‌ها (ML, NN, SVM و RF)، مشاهده شد که دقت به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش‌یافته است بطوریکه برای ترکیب چهارتایی ML, NN, SVM و RF دقتی معادل ۸۲.۸۹ درصد و ضریب کاپای ۰.۸۱۵ درصد حاصل شد. با توجه به نتایج می‌توان گفت، هر چه تعداد الگوریتم‌ها بیشتر شود ترکیب طبقه‌بندی کننده‌ها در روش پیشنهادی، از دقت بهتری برخوردار خواهد بود. لذا ترکیب چهارتایی به‌عنوان ترکیب نهایی برای بهبود دقت طبقه‌بندی کننده‌های منفرد انتخاب گردید که نتیجه نهایی آن در شکل (۵) ملاحظه می‌شود.



شکل (۵): نتیجه ترکیب خروجی‌ها بر اساس آنالیز عدم قطعیت

با توجه به شکل (۵) می‌توان گفت، برخی از پیکسل‌ها که در طبقه‌بندی کننده‌های منفرد به‌صورت فلفل نمکی و یا تک پیکسلی ظاهرشده بودند با انجام ترکیب طبقه‌بندی کننده‌ها کاهش یافتند. این بهبود نیز در مرز بین کلاس‌ها هم دیده شد.

۴-۴- پیاده‌سازی روش رأی اکثریت و مقایسه نتایج

با توجه به انتخاب ترکیب چهارتایی (بهترین ترکیب در روش پیشنهادی)، خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها در روش رأی اکثریت با اجرای چهار طبقه‌بندی اولیه ML, NN, SVM و RF، ترکیب شدند. نتیجه موردنظر در جدول (۳) ملاحظه می‌شود.

جدول (۳): نتیجه حاصل از روش رأی اکثریت

نتایج	رأی اکثریت
دقت کلی (٪)	۸۱.۹۲
ضریب کاپا (٪)	۰.۷۸۰

نتیجه حاصل از جدول (۳) نشان می‌دهد که روش رأی اکثریت نیز باعث افزایش دقت طبقه‌بندی کننده‌ها شده است؛ بطوریکه دقت کلی معادل ۸۱.۹۲ درصد بدست آمد. در پایان روش پیشنهادی ترکیب با روش‌های منفرد طبقه‌بندی کننده و رأی اکثریت مقایسه شدند که نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۴) ارائه‌شده است.

جدول (۴): مقایسه دقت کلیه طبقه‌بندی کننده‌ها

نتایج	بیشترین شباهت	ماشین بردار پشتیبان	شبکه‌های عصبی	جنگل تصادفی	روش پیشنهادی ترکیب (ترکیب چهارتایی)	رأی اکثریت
دقت کلی (٪)	۷۷.۹۵	۸۰.۰۱	۷۹.۷۰	۸۰.۵۶	**۸۲.۸۹**	۸۱.۹۲
ضریب کاپا (٪)	۰.۷۳۴	۰.۷۷۲	۰.۷۵۱	۰.۷۷۹	**۰.۷۸۹**	۰.۷۸۰

با توجه به جدول (۴) می‌توان گفت که روش پیشنهادی ترکیب در مقایسه با طبقه‌بندی کننده‌های منفرد و روش معمول رأی اکثریت از دقت بهتری برخوردار می‌باشد؛ بنابراین روش پیشنهادی ترکیب توانایی قابل قبولی در بهبود دقت طبقه‌بندی کننده‌ها را دارد.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق خروجی طبقه‌بندی کننده‌های منفرد ML, NN, SVM و RF، بر اساس آنالیز عدم قطعیت در ترکیبات مختلف طبقه‌بندی باهم ترکیب شدند. با توجه به نتایج حاصل‌شده می‌توان گفت، ترکیب خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها بر اساس آنالیز عدم قطعیت باعث بهبود نتایج طبقه‌بندی می‌شود و می‌تواند به‌عنوان یک قانون ترکیب جدید، برای ترکیب طبقه‌بندی کننده‌های منفرد مطرح شود. همچنین مقایسه نتایج آنالیز عدم قطعیت بر اساس کمینه آنتروپی، می‌تواند به‌عنوان یک معیار تصمیم‌گیری جدید برای برچسب دهی پیکسل‌ها استفاده شود. لازم به ذکر است که توسعه‌ی روش پیشنهادی تحقیق، می‌تواند برای شناسایی عدم قطعیت‌های موجود در نتایج طبقه‌بندی با دامنه‌های مختلف و نیز تلاش برای کاهش این عدم قطعیت‌ها در قالب یک سیستم طبقه‌بندی چندگانه با ساختاری مناسب و توسعه‌یافته (استفاده از داده‌های آموزشی مکمل در کنار داده‌های آموزشی اولیه و نیز استفاده از ویژگی‌های توسعه‌یافته درروند طبقه‌بندی چندگانه) مطرح شود. لذا این موضوع را می‌توان به‌عنوان یک فعالیت آتی در نظر گرفت.

مراجع

[۱]- Richard O.Duda,Peter E.Hart,David G.Stork,"pattern classification"

[۲]- John A. Richards,"Xiuping Jia, Remote Sensing Digital Image Analysis"

[۳]- Xue-Hua Liu, A.K. Skidmore, H. Van Oosten “Integration of classification methods for improvement of land-cover map accuracy”, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing vol:18, PP:257– 268. 2002

[٤]- João Manuel Portela da Gama, "Combining Classification Algorithms", Departamento de Ciência de Computadores Faculdade de Ciências da Universidade do Porto,1999

[٥]- Paul C. Smits, "Multiple Classifier Systems for Supervised Remote Sensing Image Classification Based on Dynamic Classifier Selection", IEEE TRANSACTIONS GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL. 40, NO. 4, APRIL 2002

[٦]- Michał Woz´niak, Manuel Grana, Emilio Corchado,” A survey of multiple classifier systems as hybrid systems” Contents lists available at SciVerse ScienceDirect, Information Fusion 16 pp: 3–17, 2014

[۷]- Dasaranthy B.V and Sheela B.V, “A composite classifier system design: concepts and methodology” Proceeding of the IEEE 67 (5): 708-713, 1979

[۸]- L. Hansen and P. Salamon, "Neural network ensembles". IEEE Transaction, Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp.993-1001,1990

[۹]- N. Karizi, E. Kabir, “Combining classifiers :create diversity and composition rules”. Computer science and engineering, Vol (3), pp:107-95, 2002

[۱۰]-Y.Maghsoudi,A.AlimhammadiM.J.Valdan Zoej, M.Rahimzadegan and M. R. Mobasheri, "Provide a method for classification of hyperspectral data AVIRIS, whit from using of feature extraction and combination classifiers", IranianRemote Sensing&GIS, Vol.1, No.1, Spring 2009

[۱۱]- Hai Tung CHU, Linlin GE,” EVALUATION OF MULTIPLE CLASSIFIER COMBINATION TECHNIQUES FOR LAND COVER CLASSIFICATION USING MULTISOURCE REMOTE SENSING DATA”,International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, IEEE, 2012

[۱۲]- Bin Yang, Chunxiang Cao, Ying Xing and Xiaowen Li,”Automatic classification of remote sensing image using multiple classifier systems”, athematical Problems in Engineering. Article ID 954086, 10 pages, 2015

[۱۳]- Nasru Minallah, Ali Alkhalifah, Rehanullah Khan, Hidayat Ur Rahman, Shahbaz Khan," On the Performance Analysis of Classifier Fusion for Land Cover Classification”, IEEE, 2015

[۱٤]-Quanhua Zhao,Weidong Song, “Remote Sensing Image Classification Based On Multiple Classifiers Fusion”, 3rd International Congress on Image and Signal Processing, IEEEXPLORE,vol:4. PP.1927-1931, 2010

[۱۵]- Wei .WU, Guanglai. GAO, “Computational Intelligence and Design (ISCID), Fifth International Symposium on”, IEEEEXPLORE,vol:1, pp. 188-194, 2012

[۱٦]- Roli, F., Giacinto, G., and Vernazza, G, "Methods for designing multiple classifier systems.Proceedings of the second international workshop on multiple classifier systems". Cambridge, UK, 78–87, 2001

[۱۷]- Banfield, R., et al, "A comparison of decision tree ensemble creation techniques". IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 29, 173–180, 2007

[۱۸]- Benediktsson, J.A., Chanussot, J., and Fauvel, M, "Multiple classifier systems in remote sensing: from basics to recent developments". In: M. Haindl, J. Kittler and F. Roli, eds. Multiple Classifier Systems. Heidelberg, Germany: Springer, 501–512, 2007

[۱۹]- Luísa M S Gonçalves, Cidália Fonte, Eduardo N B S Júlio, and Mario Caetano, "A Method to Incorporate Uncertainty in the Classification of Remote Sensing Images", Shanghai, P. R. China, pp. 179-185, 2008

[۲۰]- Yong Ge, Sanping Li, V. Chris Lakhan, Arko Lucieer," Exploring uncertainty in remotely sensed data with parallel coordinate plots", International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 11,pp:413–422, 2009

[۲۱]-E. Merényi, W. H. Farrand, J. V. Taranik, and T. B. Minor, "Classification of hyperspectral imagery with neural networks: comparison to conventional tools", EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, vol. 2014, no. 1, article 71, 2014.

[۲۲]-B. Yang, Z. J. Liu, Y. Xing, and C. F. Luo, “Remote sensing image classification based on improved BP neural network,” in Proceedings of the International Symposium on Image and Data Fusion (ISIDF '11), pp. 1–4, IEEE, Yunnan, China, August 2011.

[۲۳]- Y. Zhang, Z. Dong, L. Wu, and S. Wang, “A hybrid method for MRI brain image classification,” Expert Systems with Applications, vol. 38, no. 8, pp. 10049–10053, 2011.

[۲٤]-Theses doctor Yasser purpose," using a combination of classification to classify hyperspectral images", Geodesy and Geomatics Faculty, K.N Toosi University of technology 2006.

[۲٥]- K. Tumer and J. Ghosh, "Error Correlation and Error Reduction in Ensemble Classifiers," Connection Science, vol. 8, pp. 385-404, 1996.

[۲٦]- G.M. Foody & P.M. Atkinson, "Uncertainty in Remote Sensing and GIS. 2002

[۲۷]-Hamid Dehghan, Hassan Ghassemian, "Measurement of uncertainty by the entropy :application to the classification of MSS data", International Journal of Remote Sensing, Vol. 27, No. 18, pp.4005–4014, 2006

[۲۸]-Lucy Bastina, Peter F. Fisherb and Jo Wood, "Visualizing uncertainty in multi-spectral remotely sensed imagery" Computers & Geosciences Vol. 28, pp. 337–350. 2002

[۲۹]-Luis Jimenez And David Landgrebe, Supervised Classification in High Dimensional Space, School of Elect.&Comp.Eng. University Of Puerto, IEEE Trans. Geosci.Remote Sensing,vol 37,No,6. 1999

[۳۰]-Jie Zhang,Jianzhong Sun.The Survey Of accuracy analysis of remote sensing and GLS,ISPRS,vol.IV,part 2,commission.II,2002.

[۳۱]- J. Ronald Eastman, Stefano Crema, Honglei Zhu and James Toledano," In-Process Classification Assessment of Remotely Sensed Imagery",Geocarto International, Vol. 20, No. 4, December 2005

[۳۲]- Yong Ge, Sanping Li, V. Chris Lakhan, Arko Lucieer, " Exploring uncertainty in remotely sensed data with parallel coordinate plots", International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 11. pp.413–422, 2009

[۳۳]-Liang, J.Y., Li, D.Y, " Uncertainty and Knowledge Acquisition in the Information System". Science Press, Beijing, China,2005

[۳٤]- 2-Luísa M S Gonçalves, Cidália Fonte, Eduardo N B S Júlio, and Mario Caetano,"A Method to Incorporate Uncertainty in the Classification of Remote Sensing Images", Shanghai, P. R. China, June 25-27, pp. 179-185. 2008

[۳٥]- Shannon, C.E, "A mathematical theory of communication". Bell SystemTechnical Journal 27 (379–423), 623–656.1948

Combination classifieres on base uncertainty analysis

(1) Roozeh khanbolooki, (2) Mehdi mokhtarzadeh

1.Msc. student in Remote sensing, K.N Toosi University of technology
email:roozbeh.khanbolooki@yahoo.com

2. Assistant Professor, Geodesy and Geomatics Faculty, K.N Toosi University of technology
email:m_mokhtarzade@kntu.ac.ir

Multiple classifiers are effective method to increase the efficiency of pattern recognition systems using the combination of different classifiers results. These methods has attracted researchers attention. The success of a multiple classifier depend on the independent and complementany performance of its individual classification, as well as the technique applied to combines their results. In this paper a new method for combining the output of classifier is proposed. In this method, the combinition of results are performed via uncertainty analysis of them where entropy is applied as the uncertainty measure. For different classifiers including Maximum Likelihood, Support Vector Machins, Neural Network and Random Forest wre used as the indiviued classifiers and all possible combination of them were used as the inpute classifiers to the proposed multiple classification system. The results were obtained on an IKONOS image from the semi-urban area. The obtained results proved that in most cases the accuracy is improved. The best results was obtained from the combination of 77.95%, 80.01%, 79.70% and 80.56% with 82.89% overall accuracy. This accuracy was suparior to all the individual classifiers. Finally, The proposed combined method by conventional majority vote method whit accuracy of 81.92 percent the were compared. Compare the accuracy proposed method representative the superiority of this method is compared to majority vote.

Keywords: uncertainy analysis, Maximum likelihood, Support vector machines, Neural networks and Random forest.