نشریه پژوهش های کاربردی دورکاوی و اطلاعات مکانی

شناسایی وطبقه بندی اهداف سطحی و زیر سطحی با روش استخراج ویژگی ترکیبی تبدیل ویولت وآنتروپی

۱

سال اول
بهار ۱۴۰۵

مقاله

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۶/۲۰
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۸/۲۲
صص: ۱۶-۱

احسان افشار[۱] | حمید دهقانی[۲] | هادی امیری[۳]

چکیده

امروزه ایجاد الگوریتم‌های شناسایی که بتواند دسته‌بندی(Classification) شناورهای دریایی را بر اساس نویز تشعشعی زیرآبی آن‌ها و بدون نظارت انسان انجام دهد و در سامانه‌های دفاعی کشور ما به کار برده شود اهمیت شایانی پیدا کرده است. در این مقاله روشی نوین برای دسته‌بندی شناورهای دریایی ارایه شده و با داده‌های واقعی تست شده است. در این روش با استفاده از تبدیل بسته ویولت و آنتروپی شاخه‌های درخت حاصل از آن ویژگی جدیدی ایجاد شده و استخراج ویژگی را بهبود داده که بتواند بیشترین تفکیک‌پذیری را بین کلاس‌های موجود ایجاد کند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد این روش در تمایز بین شناورها ودسته‌بندی آن‌ها به شکل قابل ملاحضه‌ای موفق بوده است.

کلیدواژه‌ها: استخراج ویژگی، تبدیل بسته ویولت، آنتروپی، دسته بندی، نویز تشعشعی زیرآبی

1 نویسنده مسئول: دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته پدافند غیرعامل_آفا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران، Ehsan0431@gmail.com
۲ دانشیار، رشته پدافند غیرعامل_آفا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران
۳ استادیار، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مقدمه

دسته‌بندی و شناسایی شناورهای دریایی بر پایه نوفه انتشاری آن‌ها از جمله مواردی است که در ارتش‌ها و سازمان‌های نظامی کشورهای مختلف به آن پرداخته شده است. این کار در اغلب سیستم ها توسط توانایی انسان در تفکیک صوت شنیداری برای تشخیص انواع شناور انجام می شود، بنابراین ضرورت استفاده از تکنولوژی و سیستم‌های تشخیص شناور خودکار که بتواند بدون حضور انسان عملیات شناسایی را انجام دهد، احساس شده است. چون این مقوله بیشتر در حوزه های نظامی مورد بررسی قرار گرفته لذا تحقیقات غالبا به صورت طبقه‌بندی شده بوده و مقالات کمی در دسترس می‌باشد. در اغلب منابع برای بهبود سیستم‌های شناسایی دو بخش از سیستم را دچار تغییرات می‌کنند: یکی بخش استخراج ویژگی و دیگری طبقه بند کننده. در این مقاله قصد داریم روش نوین که در استخراج ویژگی بکار رفته است را مورد بررسی قرار دهیم. سپس با استفاده از داده های واقعی روش قدیمی را با روش های نوین مقایسه نماییم. در بخش دوم درباره ویژگی های نویز محیطی و نویز انتشاری شناور ها به صورت مختصر توضیح داده شده است. بخش سوم روش‌های نوین استخراج ویژگی که توسط دیگر پژوهشگران انجام شده است را مرور می‌کنیم. و در بخش چهارم نتایج استفاده از روش نوین ارایه می‌شود که با داده‌های واقعی تست شده اند.

ویژگی های نویز دریافت شده توسط هیدروفون [1]

صوتی که در زیر آب توسط آرایه‌ای از سنسورهای صوتی یا هیدروفون ها دریافت و ذخیره می شود شامل سیگنال تشعشعی شناور ها، که در اثر عوامل مولد صوت و لرزش درشناور ایجاد می شود و نویز محیط مانند صدای جانوران، شکسته شدن کوه یخ، برخورد هوا با سطح آب و ایجاد موج است که درهم آمیخته شده اند. این سیگنال های آمیخته با نویز محیط در الگویتم های مختلف سونار مانند شکل دهی پرتو، کالیبراسیون آشکار سازی، دسته بندی، جهت یابی و ردگیری مورد استفاده قرار می‌گیرند و اطلاعات مربوط به هدف یا اهداف از آن ها استخراج می شود. مشخص ترین بخش مشاهده شده در طیف سیگنال نویز محیط نویز ناشی از ترافیک دریایی است؛ این نویز ناشی از کشتی‌هایی است که در فاصله دور تر (فراتر از چند ده مایل دریایی) در

حال تردد هستند. شناور های دریایی مانند کشتی ها، زیر دریایی‌ها و اژدرها دارای ماشین آلات گوناگونی هستند که در اثر فعالیت این ماشین آلات و نیز در اثر حرکت شناور درآب، سیگنالی صوتی ایجاد و در آب دریا منتشر می شود. به عبارت دیگر اندکی از انرژی که شناورها برای حرکت خود درون آب و نیز کارهای دیگر از جمله تولید برق مصرف می‌کنند به انرژی آکوستیکی تبدیل شده و تشعشع می‌یابد. مرتبه توان های تشعشی برای شناورها مثلا می‌تواند از چند میلی وات برای یک زیر دریایی کم سرعت؛ با سرعتی کمتر از آستانه کویتاسیون(cavitation)؛ تا یک کیلو وات برای کشتی پر سرعت باشد. سیگنال صوتی شناورها غیر گوسی است و متشکل از یک مولفه باند پهن و یک مولفه باند باریک است. که مولفه باند باریک هم خود متشکل از تعدادی تن(tone) است. تن مشخصه‌ای از صوت است که تغییر آن از بم به زیر یا بلعکس را نشان می‌دهد. تقریبا بیشتر اطلاعات در محدوده ده هرتز تا دو کیلو هرتز است این محدوده فرکانسی نویز تولیدی کشتی‌ها می‌باشد. قوی ترین نویز تولید شده توسط شناورها نویز ناشی از سیستم رانش یا نویز ماشینی است. ماشین آلات مقداری نویز باند پهن هم تولید می‌کنند، نویز باند پهن شناورها برای آشکار سازی و تعیین جهت شناورها در الگورتم‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی دیگر از عوامل تولید نوبز شناورها که بسیار هم قوی می‌باشد نویز ناشی از پروانه شناور است[2] . فرکانس تن‌های ناشی از حرکت پروانه که اندازه آن‌ها مضرب صحیحی از حاصل ضرب تعداد تیغه‌های پروانه در فرکانس چرخش پروانه است قوی‌تر هستند. بنابراین فرکانس تن‌های قوی در سیگنال تشعشعی شناورها به فرکانس چرخش پروانه بستگی دارد. برخی از شناورها دارای دو پروانه هستند که ممکن است فرکانس چرخش آن‌ها اندکی با هم تفاوت داشته باشد. تن‌های شناورها سینوسی خالص نیستند و مقداری پهنای باند دارند، علاوه بر این پهنای باند این تن‌ها در اثر انتشار در آب بیشتر هم می‌شود. مولفه باند پهن در سیگنال شناورها تقریبا به طور کامل ناشی از نویز کویتاسیون پروانه است مگر در هنگامی‌که شناور با سرعت کمی‌حرکت کند.

با توجه به مطالبی که بیان شد نویز ماشینی و نویز پروانه قوی‌ترین نویزهای تشعشعی هستند و بخش اعظم طیف سیگنال نویز شناور را تشکیل می‌دهند از این رو از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند [3]. سیگنال شناورها هنگام انتشار درآب دچار تضعیف می‌شود، این تضعیف وابسته به

فرکانس است و با بالا رفتن فرکانس مقدار این تضعیف زیاد می‌شود؛ به همین علت شکل طیف توان طیف سیگنال یک شناور در فاصله‌های مختلف، متفاوت است و در فاصله‌های نسبتا دور مولفه‌های فرکانس بالا تضعیف شدیدی متحمل می‌شوند؛ و برای استفاده در الگوریتم‌های پردازش سیگنال مناسب نیستند. علاوه بر مواردی که بیان شد سرعت صوت در آب یکی از مهمترین عواملی می‌باشد که بر رفتار صوت موثر است. مهمترین عامل اثر گذار بر سرعت صوت حرارت و پس از آن غلظت یا شوری آب است. به ازای اضافه شدن هر درجه حرارت، سرعت صوت حدودا ۱.۲۲ متر بر ثانیه تا ۲.۴۴ متر بر ثانیه اضافه می‌شود.

مفاهیم استخراج ویژگی

استخراج ویژگی فرآیندی است که در آن داده‌ها در فضای با بعد بالا به فضای با بعد کمتر نگاشت می‌شوند؛ این نگاشت می‌تواند خطی یا غیر خطی باشد. برای کاهش بعد روش هایی وجود دارد، این روش‌ها یک فضای چند بعدی را به یک فضای با ابعاد کمتر نگاشت می‌کنند. در واقع با ترکیب مقادیر ویژگی‌های موجود، تعداد کمتری ویژگی به وجود می‌آورند بطوریکه این ویژگی‌ها دارای تمام اطلاعات یا بخشی اعظمی‌از اطلاعات موجود در ویژگی‌های اولیه باشند. به عبارت دیگر هدف در استخراج ویژگی کاهش تعداد ویژگی‌ها با حفظ کارایی طبقه‌بند کننده است یا به بیان دیگر استخراج تعدادی(کمتری) ویژگی از روی ویژگی‌های فعلی موجود است. یک مجموعه ویژگی صوتی خوب باید نسبت به عوامل خارجی مزاحم مانند نویز یا محیط حساس نباشد و قادر به تاکید بر تفاوت میان کلاس‌های مختلف صدا باشد در حالی که تغییرات در داخل یک کلاس صدای معین را کوچک نگه دارد. اینکار طبقه‌بندی را ساده‌تر می‌کند، زیرا جدا کردن کلاس‌های مختلف صدا که دارای ویژگی‌های منحصر به فرد باشند به مراتب راحت‌تر است. استخراج ویژگی با کاهش داده متفاوت است؛ در کاهش داده‌ها هدف کم کردن داده‌ها یا برداشتن تعداد محدودی از نمونه‌ها برای بیان کل داده هاست.

اولین و مهم‌ترین مشخصه برای ویژگی‌ها ایجاد تمایز(discrimination) بین دسته‌های مختلف و داشتن شباهت در یک دسته است(characteristic). چرا که دسته‌بند کننده‌ها شباهت‌های درون یک دسته و تمایزهای بین دسته‌ها را بررسی می‌کنند. ویژگی‌های مناسب قابلیت

تفکیک پذیری خوبی باید داشته باشند. علاوه بر شباهت درون دسته‌ها و تمایز بین دسته‌ها تعداد و مختصر بودن(representative) ویژگی‌ها نیز بسیار مهم است.

ویژگی‌های صوتی قابل استخراج

ویژگی‌های مختلفی برای سیگنال صوت قابل استخراج است که بخش اعظمی‌از آن‌ها درمقاله [4] ارایه شده که به پنج دسته کلی تقسیم می‌شوند. ویژگی‌های دامنه سیگنال در حوزه زمان، ویژگی‌های دامنه سیگنال در حوزه فرکانس، ویژگی‌های دامنه سیگنال در حوزه کپسترال، ویژگی‌های دامنه فرکانسی مدولاسیون، ویژگی‌های دامنه‌ای آیگن(Eigen). در اغلب پژوهش‌ها ویژگی‌ها حوزه زمان، فرکانس وکپسترال بیشتر مورد توجه بوده است. ویژگی‌های مدولاسیون و آیگن بیشتر برای بازیابی صوت و تشخیص گفتار بکار رفته است. لذا در این پژوهش تمرکز ما بر ویژگی‌های حوزه زمان، فرکانس و کپسترال است. از طرفی ترکیبی از ویژگی‌های فوق نیز به عنوان ویژگی منحصر به فرد تلقی می‌شود لذا روش‌های زمان-فرکانسی نیز در این پژوهش بررسی می‌شوند.

روش‌های ترکیبی در استخراج ویژگی

روش‌های ترکیبی غالبا روش‌هایی ابداعی، خلاقانه و با ترکیب روش‌های متنوع و مشهور استخراج ویژگی از حوزه زمان، فرکانس وکپسترال هستند. از ساده‌ترین نوع این روش‌های ترکیبی، ترکیب روش قدیمیPCA با چگالی طیف توان PSD [5] تا روش‌های پیچیده‌تر مانند ترکیب روش تبدیل بسته ویولت WPT با EMD و تبدیل هیلبرت HHT با هم را می‌توان نام برد [6]. اغلب این روش‌ها روش‌هایی نوین و با بازده یا صحت عملکرد بسیار مطلوب می‌باشند.

مجموعه‌ای از روش‌های ترکیبی در استخراج ویژگی در جدول نشان داده شده است.

جدول 1 روش‌های استخراج ویژگی

شماره	روش استخراج ویژگی	طبقه‌بندی
۱	فیلترگاماتون‌وتبدیل هیلبرت HT-GT	شبکه عصبی PNN
۲	PSD-MFCC	SVM
۳	PSD-PCA	شبکه عصبی
۴	ENTROPY-WPT	شبکه عصبی PNN
۵	PSD-WPT	شبکه عصبی MLP
۶	PSD-WPT	شبکه عصبی RBF
۷	LPC-WPT	شبکه عصبی BPNN
۹	PSD-EMD	ذکر نشده
۱۰	LPC-CC-WPT	شبکه عصبی BPNN
۱۱	HT-EMD-GT	SVM
۱۲	HT-EMD-WPT	SVM

الگوریتم پیشنهادی

در این روش ابتدا در مرحله پیش پردازش سیگنال در یافتی نرمالیزه شده و مقدار DC آن از بین می‌رود. درمرحله بعد به منظور کاهش حجم محاسبات و افزایش راندمان سیستم، نرخ نمونه برداری به نصف کاهش داده می‌شود. سپس به صورت پنجره‌هایی ۱۰۲۴ نقطه‌ای با ۲۵ درصد همپوشانی تقسیم شده و در مرحله بعد با استفاده از تبدیل ویولت، از هر پنجره به طور مجزا دو مرحله پیاپی تبدیل ویولت گرفته شده و آنتروپی هر شاخه از درخت ویولت محاسبه می‌شود. بردار آنتروپی به عنوان ویژگی برای طبقه‌بند کننده فرستاده می‌شود.

در این روش چون هدف یافتن روش استخراج ویژگی جدید بوده است از طبقه‌بند کننده حداقل فاصله ماهالانوبیس استفاده شده است.

تبدیل ویولت و آنتروپی[8] [7]

بـه بیـان سـاده تـابع مـادر ویولـت $\Psi(x)$ کـه $\{\psi(2^j x-k), i, k \in Z\}$ اسـت و $\psi(x) \in L^2(R)$ تعریف می‌شود. و اصطلاح مادر ویولت به این جهت است که تبدیل ویولـت را تشکیل داده است. در یک نگاه، تبدیل ویولت شبیه تبدیل فوریه است؛ با این تفاوت که پایگـاه آن‌ها متفاوت بوده. به عبارت دیگر تفاوت بین تبدیل ویولت و تبدیل فوریه در این است که تبدیل فوریه صرفا مشخصات فرکانسی سیگنال را در اختیار قرار می‌دهد ایـن درحـالی اسـت کـه تبـدیل ویولت مشخصات زمانی و فرکانسی را به طور همزمان ارایه می کند.

ایده اصلی ویولت از خود مشابهی است که با $\phi(x)$ که از رابطه (۱) شروع می‌شود.

$$\phi(x)=\sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k \phi(2x-k) \qquad (۱)$$

و داریم رابطه ویولت که به صورت رابطه (۲) می‌باشد.

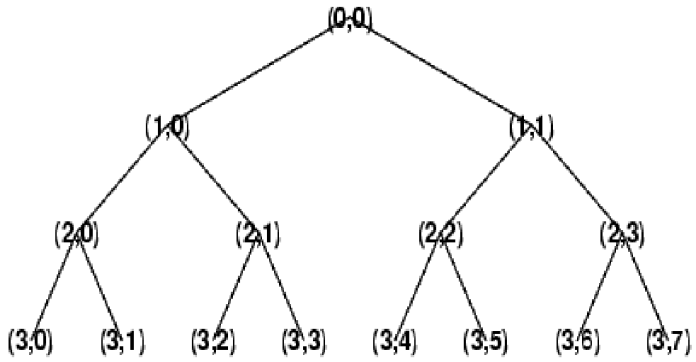
$$\Psi(x)=\sum_{k=-\infty}^{\infty}(-1)^k b_k \phi(2x-k) \qquad (۲)$$
$$\sum_{k=-\infty}^{\infty}(-1)^k \overline{a}_1-k\,\phi(2x-k)$$

در این رابطه b_k و a_k ضرایب که فیلتر نامیده می‌شوند می‌باشند.

تبدیل بسته ویولت (WPT) نوع توسعه یافته تبدیل ویولت است، که میتواند اطلاعات بیشتری را فراهم کند. تابع بسته ویولت برای مجموعه $\{u_n(t)\}$ که $(n \in Z)$ باشد تعریـف مـی‌شـود و داریم:

$$\begin{cases} u_{2n}(t)=\sqrt{2}\sum_k h(k)u_n(2t-k) \\ u_{2n+1}(t)=\sqrt{2}\sum_k g(k)u_n(2t-k) \end{cases} \qquad (3)$$

که در این رابطه $u_0(t)=\varphi(t)$ و $h(k)$ و $g(k)$ به ترتیب ضرایب فیلتر فرکانس پایین و فیلترفرکانس بالا هستند. فرآیند تجزیه تبدیل بسته ویولت می‌تواند به صورت ساختار درختی شکل زیر باشد.



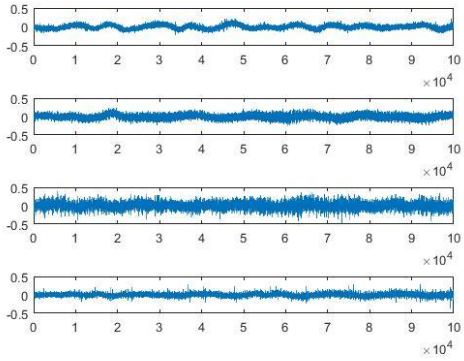
شکل 1 نمودار درختی تجزیه سیگنال با تبدیل بسته ویولت

رابطه آنتروپی هر نقطه به صورت رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$E(s_{l,j}) = -\sum_{k} s_{l,j}^2 \ln(s_{l,j}^2(k)) \qquad (4)$$

ارزیابی روش پیشنهادی

ما برای دسته بندی به کمک روش تبدیل ویولت و آنتروپی به عنوان ویژگی‌های متمایز کننده دسته‌ها بهره جسته و این روش را برای دسته بندی ۴ دسته شناور سنگین، سبک و متوسط بکار برده‌ایم.



شکل ۲ سیگنال اصلی ۴ دسته شناور قبل از پردازش

فایل‌های صوتی موجود با فرکانس نمونه برداری ۲۵۶۰ هرتز برای شناورهای سبک و ۵ کیلوهرتز برای شناورهای متوسط و سنگین نمونه‌برداری شده و طول نمونه‌برداری هر فایل صوتی ۵ ثانیه بوده است. در جدول زیر نتایج طبقه‌بندی و صحت طبقه‌بند کننده نشان داده شده است

جدول 2 صحت عملکرد طبقه‌بند کننده

کلاس	تعداد نمونه	تشخیص درست نمونه	صحت
A	۸	٤	٥٠٪
B	۸	۸	١٠٠٪
C	۸	۸	١٠٠٪
D	۸	٥	٦٢٪

نتیجه گیری

در این مقاله روشی جدید برای دسته بندی شناورهای دریایی پیشنهاد گردید که شامل استفاده از بسته تبدیل ویولت و آنتروپی شاخه‌های درخت ویولت با استفاده از طبقه‌بند حداقل فاصله ماهالانوبیس به عنوان دسته‌بند کننده است. از این روش برای دسته بندی شناور به صورت کلی و تمایز بین کلاس‌ها استفاده شده است. نتایج بدست نشان می‌دهد این روش برای تفکیک کلاس‌ها بسیار مناسب بوده است به طوری که دو کلاس به طور ۱۰۰٪ صحیح تشخیص داده شده‌اند.

منابع

[۱] R.j.Urick, Principles of underwater sound, McGraw-Hill: ۳rd edition, .۱۹۸۳

[۲] W.S.Burdic, Underwater acoustic systems, Prentice-Hall: ۲nd edition, .۱۹۹۱

[۳] م. کریمی, "شبیه سازی نویز محیطی دریا وسیگنال تشعشعی شناورهای در باند صوتی برای آرایه‌ای از هیـدروفون ها," in مجموعه مقالات یازدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران. جلد دوم. صفحه ۱-۱۲, شیراز, ۱۳۸۲.

[۴] M. ´. DALIBOR, Z. Matthias and B. Christian, "Features for Content-Based Audio Retrieva," November, .۲۰۱۲

[۵] C.H.Chen, J.D.LEE and M.C.LIN, "Classification of Underwater Signals Using Wavelet Transforms and Neural Networks," in Mathl. Comput. Modellang , .۱۹۹۷

[۶] X. Z. Shuguang Wang, "Robust underwater noise targets classification using auditory inspired time–frequency analysis," ELSEVIER, no. Applied Acoustics ۷۸, pp. ۶۸-۷۶, .۲۰۱۴

[۷] Q. Li. S. Zhu. M. Tao Li, "A Survey on Wavelet Applications in Data Mining," ۲۰۰2

[۸] مهدی فرخ روز. محمود کریمی: دسته بندی شناورهای دریایی با استفاده از ضرایب مدل AR برای نویز تشعشـعی صوتی و شبکه عصبی ..۱۳۸۳PNN.

شبیه سازی نویز محیطی دریا وسیگنال تشعشعی شناورهای در باند صوتی برای آرایه‌ای از هیدروفون ها," in مجموعه مقـالات یازدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران. جلد دوم