

بکارگیری الگوریتم هوشمند حفاظت در فیدرهای کابلی

محمد یوسفی کیا*، احسان غریب رضا^۲

۱. گروه الکترونیک و مخابرات دریایی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر
۲. شرکت برق منطقه ای خوزستان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۳

شناسه دیجیتال (DOI): [10.22113/jmst.2018.102186.2069](https://doi.org/10.22113/jmst.2018.102186.2069)

چکیده

هدف نهایی مجموعه صنعت برق، تأمین انرژی مطمئن می‌باشد. از این رو تشخیص درست و بهنگام خطا همواره مهمترین دغدغه بهره‌برداران شبکه برق بوده است. در سال‌های اخیر استفاده از کابل به طور روزافزون افزایش یافته و تشخیص خطا و محل آن را با چالش مواجه ساخته است. چنانچه شبکه کابلی مورد نظر برای کاربردی خاص از جمله کابل اتصال ژنراتور یا شبکه برق صنعتی باشد، اهمیت آن دوجندان خواهد شد و عدم عملکرد به موقع سیستم حفاظتی باعث خسارات جبران ناپذیری می‌شود. در این مقاله روشی برای تشخیص و تعیین محل خطا در کابل با استفاده از الگوریتم ترکیبی تبدیل موجک و شبکه MLP بهینه شده با الگوریتم زنبور ارائه می‌شود. در الگوریتم پیشنهادی برای افزایش قابلیت انتخاب، دو بخش آغازگر و تحلیل پیش بینی شده است. الگوریتم با بهره‌گیری از نرم افزارهای DigSILENT و MATLAB بر روی شبکه کابلی نمونه ی یک کشتی پیاده سازی شده است. نتایج شبیه سازی حاکی از دقت ۹۳ درصدی الگوریتم در تشخیص صحیح محل خطا می‌باشد.

واژگان کلیدی: فیدر کابلی، تبدیل موجک، شبکه MLP، الگوریتم زنبور، شبکه صنعتی کشتی

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: yousefi-kia@kmsu.ac.ir

۱. مقدمه

اهمیت بالای حفاظت از فیدرهای کابلی محققان را به سمت مدلسازی خطا در کابل ها سوق داده است (Shirkoochi et al., 2016) و به دلیل حساسیت تشخیص به موقع آن، تحقیقات گسترده‌ای با محوریت سرعت تشخیص انجام شده است. در (Zhang, 2016) تشخیص خطا در مراحل ابتدایی آن با تحلیل تخلیه الکتریکی ارائه شده است و در (Zhang et al., 2016) برای این منظور از جریان غلاف کابل استفاده شده است. همچنین محقق در (Zhang et al., 2017) نقطه قوت روش خود را در تشخیص در چند سیکل ابتدایی آن اذعان می کند. از طرفی امکان پایش آنلاین در فیدرهای کابلی مهم نیز مورد توجه قرار گرفته است (Wei et al., 2011)، که این امر در (Wei et al., 2011) در حوزه زمان انجام شده است و در (Jianmei et al., 2016) روش تشخیص آنلاین برای شبکه کابلی به صورت ترکیبی از چند هادی ارائه شده است.

محققان جهت تشخیص صحیح خطای کابل روشهای مختلفی بکار برده‌اند. برخی از طیف‌سنجی امپدانس (Shi et al., 2014) و برخی از فناوری اولتراسونیک (Zhang et al., 2016) بهره گرفته‌اند ولی بسیاری از پروژه‌های تحقیقاتی از پردازش سیگنال استفاده کرده‌اند که برخی بر آنالیز حوزه زمان (Wei et al., 2011) و برخی بر آنالیز حوزه فرکانس و تحلیل فوریه (Pandey et al., 2010) استوار هستند؛ ولی در سال‌های اخیر بکارگیری تحلیل موجک که یک تحلیل زمان-فرکانس است به دلیل مزایای گسترده آن بسیار مورد توجه قرار گرفته است ((Zhang et al., 2016) و (Laib et al., 2016)، (Karmacharya et al., 2017)

(al., 2017)، (Long et al., 2012)). در این دسته از مقالات از تبدیل موجک برای استخراج ویژگی های سیگنال‌ها استفاده شده است و ابتکاراتی در خصوص تشخیص خطا ارائه شده است. شبکه های صنعتی همواره هدف مناسبی برای تحقیقات بوده است، از این رو تحقیقات وسیعی برای تشخیص خطای کابل شبکه های صنعتی و وسایل نقلیه از جمله هواپیما (Zhang et al., 2016)، قطار سریع السیر (Zhang et al., 2017) و نیروگاه های فتوولتائیک (Karmacharya et al., 2017) انجام شده است. در این مقاله الگوریتمی ترکیبی مبتنی بر تبدیل موجک و شبکه عصبی چندلایه MLP ارائه خواهد شد که به صورت آنلاین به پایش وضعیت فیدر کابلی می پردازد و در این راستا جهت افزایش کارایی الگوریتم از آنالیز مولفه اصلی و الگوریتم زنبور بهره گرفته می شود.

۲. مواد و روش ها

در این بخش تعاریف و ابزارهای بکار رفته در این مقاله شامل تبدیل موجک، روش آنالیز مولفه های اصلی (PCA)، شبکه عصبی چند لایه (MLP) و الگوریتم کلونی زنبور عسل معرفی خواهند شد. در نهایت الگوریتم پیشنهادی این مقاله برای حفاظت هوشمند شبکه کابلی ارائه خواهد شد. تبدیل موجک از جمله ابزارهای پردازش سیگنال می باشد که به طور همزمان در دو حوزه زمان و فرکانس عمل می نماید. در این تبدیل سیگنال در سطوح مختلف و در هر سطح به دو شکل موج تقریب و جزئیات تجزیه می شود. در این مقاله از تبدیل موجک گسسته استفاده شده است که مطابق رابطه (۱) تعریف می گردد.

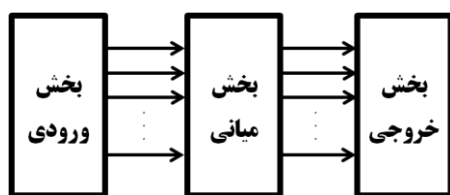
$$DWT(f, m, n) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum f(k) \psi^* \left(\frac{k - nb_0 a_0^m}{a_0^m} \right) \quad (1)$$

به منظور شناسایی و تشخیص پدیده های الکتریکی میتوان از بردار ویژگی های مرتبط با آن استفاده کرد که

در که در آن a_0^m و b_0 به ترتیب معرف پارامترهای مقیاس و مکان بوده و ψ موجک است.

ویژگی، بیشترین اطلاعات را حفظ کرد (Joliffe, I. 1986)

شبکه MLP^3 از کارآمدترین الگوریتم های هوشمند در تخمین پدیده ها می باشد که دارای قابلیت یادگیری است. شبکه MLP دارای سه بخش ورودی، میانی و خروجی که بخش میانی آن می تواند از چند لایه تشکیل شده باشد. شکل (۱) طرح شبکه MLP را نشان می دهد.



شکل ۱. شماتیک شبکه MLP

خروجی شبکه مطابق رابطه (۴) ایجاد می شود.

$$y = \sum_{i=0}^n w_i x_i \quad (4)$$

که در آن

x_i : ورودی i ام

w_i : وزن i ام

شبکه MLP در مرحله یادگیری با یافتن w_i های بهینه، نزدیکترین جواب را می یابد که برای این کار از روش LSE بهره می گیرد.

الگوریتم کلونی زنبور عسل که در این مقاله به اختصار با عنوان الگوریتم زنبور معرفی می شود مانند سایر الگوریتم های هوش ازدحامی از قبیل الگوریتم خفاش، ماهی، مورچه و ... مرتبط بر رفتار تصادفی المان های آن است و برای حل مسائل بهینه سازی کاربرد دارد. (Panigrahi et al, 2011) این الگوریتم شبیه سازی رفتار جستجوی غذای گروه های زنبور عسل است. این الگوریتم نیز مانند سایر الگوریتم های هوش ازدحامی از دو روش اکتشاف و استخراج استفاده می کند. زنبورهای سرباز وظیفه استخراج و زنبورهای نخبه وظیفه اکتشاف را به عهده دارند. زنبورهای سرباز در اطراف یک منطقه (منطقه ای که شامل جواب مسئله است) به دنبال جواب

در مسئله مطرح شده در این مقاله، بردار ویژگی شامل واریانس تبدیل موجک در سطوح ۳، ۴ و ۵ برای جریان سه فاز می باشد. از طرفی برای افزایش کارایی الگوریتم می بایست ابعاد بهینه این بردار را استخراج نمود. یکی از روش های کاهش ابعاد بردار ویژگی که در بیشتر مطالعات علمی کاربرد دارد آنالیز مؤلفه های اصلی PCA^۲ می باشد. این روش نوعی تبدیل خطی می باشد که ماتریس کوواریانس بردارهای ویژگی را که بین ویژگی های آن همبستگی وجود دارد، به ماتریسی که بین ویژگی های آن همبستگی وجود ندارد تبدیل می کند. به عبارت دیگر ماتریس کوواریانس را به یک ماتریس قطری تبدیل می کند. در این روش فرض بر این است که توزیع داده ها بصورت توزیع نرمال است. در این صورت ماتریس کوواریانس C برابر خواهد بود با:

$$C = \frac{1}{N} \sum_j^N X_j X_j^T - mm^T \quad (2)$$

که در آن N تعداد بردارهای ویژگی، X بردار تصادفی ویژگی ها و m میانگین بردار ویژگی می باشند. از آنجا که C متقارن، مثبت و معین است می توان آن را با استفاده از ماتریس تبدیل A به صورت قطری (به نام C^*) با رابطه ۳ نشان داد:

$$C^* = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k) \quad (3)$$

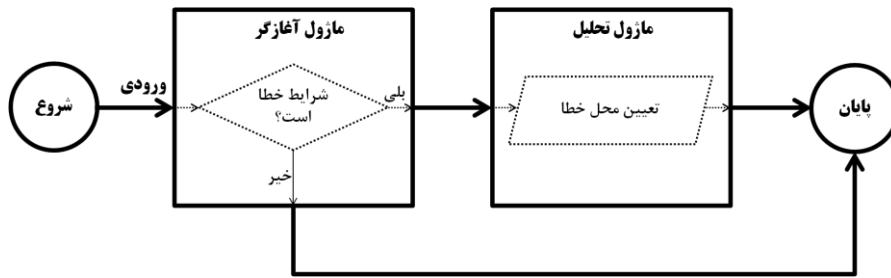
که در آن k تعداد ویژگی ها در بردار ویژگی، λ_i برابر با i امین مقدار ویژه ماتریس C و A ماتریس تبدیل است که سطرهای آن شامل بردارهای ویژگی متناظر با مقادیر ویژه روی قطر C^* می باشند. ماتریس A فضای روی بردارهای ویژه را که با هم دارای همبستگی می باشند به فضای جدیدی که در آن بردارهای ویژه دارای همبستگی نمی باشند تبدیل می کند. شایان ذکر است که اگر داده ها دارای توزیع نرمال نباشند در فضای جدید، مولفه ها دارای همبستگی خواهند بود. اثبات شده است که در روش PCA با انتخاب m سطر از k سطر ماتریس A، متناظر با مقادیر ویژه بزرگتر، به عنوان ماتریس تبدیل می توان ضمن کاهش ابعاد بردارهای

³ Multi-Layer Perceptron

² Principal Components Analysis

بهینه می گردند و زنبورهای نخبه با رفتار تصادفی به دنبال پیدا کردن مناطق جدید هستند. از جمله کاربردهای الگوریتم بهینه سازی زنبور عسل در علوم مهندسی می توان به آموزش شبکه عصبی برای الگو شناسی، زمان بندی کارها برای ماشین های تولیدی، دسته بندی اطلاعات و بهینه سازی چند گانه اشاره کرد. هدف الگوریتم پیشنهادی تشخیص و تعیین محل خطا در فیدر کابلی است. الگوریتم می بایست چگونه ای عمل کند که در مقابل عملکرد های عادی شبکه همچون کلیدزنی ژنراتور و کلیدزنی در فیدرها مقاوم بوده و به اشتباه خطا تشخیص ندهد. لذا در الگوریتم پیشنهادی دو بخش طراحی شده است: بخش آغازگر و بخش تحلیل.

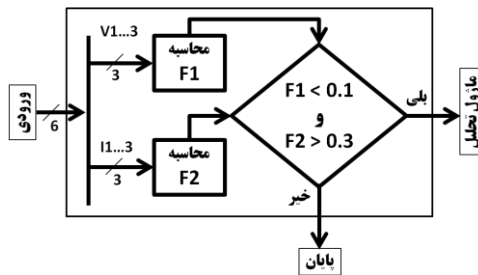
وظیفه بخش آغازگر، تشخیص محدوده پدیده است؛ بدین معنی که چنانچه شرایط طبیعی باشد و یا خطا مربوط به فیدرهای دیگر باشد، فرمان شروع محاسبات به بخش تحلیل ارسال نمی شود و فقط زمانی بخش تحلیل اقدام به محاسبات محل و نوع خطا می نماید که از محدودیت خطا و وقوع آن توسط بخش آغازگر اطمینان حاصل شود. مزیت استفاده از بخش آغازگر علاوه بر مقاوم نمودن الگوریتم در مقابل تشخیص اشتباه، باعث می شود که بخش تحلیل به طور دائم در حال کار نباشد و در فاز سخت افزاری این نکته از اهمیت خاصی برخوردار است. طرح کلی الگوریتم در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲. طرح کلی الگوریتم پیشنهادی

کلیدزنی ژنراتور (قطع یا وصل)، تغییر ناگهانی تولید ژنراتور (افزایش یا کاهش) و کلیدزنی فیدرهای کابلی مجاور پدیده طبیعی بوده و نباید وارد مرحله تحلیل شود. این عمل توسط بخش آغازگر (شکل ۳) صورت می پذیرد.

همانطور که قبلا بیان شد، الگوریتم می بایست در مقابل پدیده های غیر مرتبط بدون عملکرد باشد. از این رو پدیده هایی که ممکن است رخ دهد و خارج از محدوده وظیفه عملکرد رله باشد باید در مرحله آغازین حذف گردند. طبق بررسی های انجام شده در خصوص موضوع مطرح شده در این مقاله، پدیده های



شکل ۳. فلوچارت بخش آغازگر

است. این در حالی است که انواع خطا بر روی فیدر کابلی مورد حفاظت باعث ایجاد F1 کمتر از ۰/۱ در محل نصب رله را ایجاد می کند و فاکتور F2 در حالت خطا در فیدر مورد نظر بیشتر از ۰/۳ خواهد شد.

از این رو می توان نتیجه گرفت که چنانچه $F1 < 0.1$ و $F2 > 0.3$ باشد، خطا رخ داده است و در غیر این صورت الگوریتم نباید عملکرد داشته باشد و بخش تحلیل را نباید فعال نماید.

پس از اینکه وجود شرایط خطا توسط بخش آغازگر مشخص شد، بخش تحلیل عملیات خود را برای تعیین محل خطا آغاز خواهد کرد. در این پژوهش جهت تعیین محل خطا از روش ترکیبی مبتنی بر تبدیل موجک و MLP بهیته شده با الگوریتم زنبور استفاده شده است. همچنین برای کاهش ابعاد ورودی شبکه MLP از روش مولفه اصلی بهره گرفته شده است. بخش تحلیل در فلوچارت شکل ۴ اراده شده است.

بخش آغازگر دارای ۶ ورودی آنالوگ شامل جریان سه فاز و ولتاژ سه فاز است و در آن دو فاکتور F1 و F2 مطابق روابط ۵ و ۶ تعریف شده است.

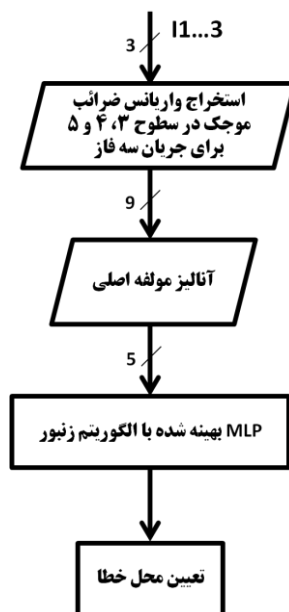
$$F1 = \frac{\sum_{n=1}^3 E_n(V_{L7})}{\sum_{n=1}^3 E_n(V_{L2})} \quad (5)$$

که در آن $E_n(V_{L2})$ و $E_n(V_{L7})$ به ترتیب انرژی سطح هفتم و دوم ضرائب تبدیل موجک HAAR ولتاژ فاز n ام می باشند. علت بکارگیری موجک مادر HAAR تطبیق پذیری آن بر ماهیت عمده پدیده های الکتریکی می باشد (Ukil et al, 2015).

$$F2 = \sum_{n=1}^3 \text{Var}_n(I_{L3}) \quad (6)$$

که در آن $\text{Var}_n(I_{L3})$ واریانس ضرائب سطح سوم جریان فاز n ام است.

بر اساس شبیه سازی های انجام شده در کلیه پدیده های کلیدرنی ژنراتور، کلید زنی فیدرهای مجاور و تغییر ناگهانی تولید ژنراتور، همواره F1 بیشتر از ۰/۱



شکل ۴. فلوچارت بخش تحلیل

بعد از قابلیت آنالیز مؤلفه اصلی مطابق روابط ۲ و ۳ که در بخش مواد و روشها شرح داده شد جهت کاهش درایه های ماتریس (در این مسئله از ۹ درایه به ۵ درایه) و افزایش سرعت محاسبات استفاده می شود.

ورودی بخش تحلیل، جریانهای سه فاز می باشد. در مرحله اول واریانس ضرائب موجک HAAR در سطوح ۳ و ۴ و ۵ برای جریان سه فاز استخراج می شود که یک ماتریس ۹ درایه را تشکیل می دهد. در مرحله

در مرحله سوم شبکه عصبی با ورودی ۵ درایه محل خطا را تعیین می کند.

میزان کارایی و دقت خروجی در شبکه های MLP به ساختار لایه های آن وابسته است. لذا در این مقاله برای رسیدن به ساختار بهینه MLP از الگوریتم زنبور بهره گرفته شد. در واقع الگوریتم زنبور تعداد لایه های میانی MLP و تعداد نرونهای هر یک از لایه ها را تعیین می نماید. در اینجا شبکه MLP حداکثر با دو لایه میانی ساخته می شود. هر زنبور از سه پارامتر بهینه سازی تشکیل شده است. پارامتر اول نشان دهنده تعداد لایه های میانی و پارامترهای دوم و سوم به ترتیب تعداد نرون های لایه های میانی اول و دوم می باشند. رابطه (۷) زنبور نمونه را نشان می دهد.

$$\text{Sample bee} = [x \ y \ z](7)$$

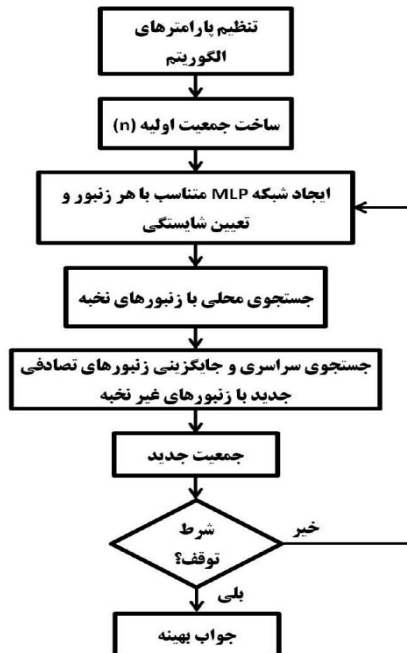
که در آن x ، y و z به ترتیب تعداد لایه های میانی، تعداد نرون های لایه اول و تعداد نرون های لایه دوم می باشند.

پارامتر x می تواند ۱ یا ۲ باشد. روشن است که در زنبور تصادفی ساخته شده چنانچه x برابر ۱ گردد در

این صورت شبکه MLP با یک لایه میانی ساخته خواهد شد که تعداد نرون های آن برابر y می باشد و پارامتر z در ساختار MLP کاربردی نخواهد داشت. ولی چنانچه x برابر ۲ گردد، شبکه MLP با دو لایه و تعداد y نرون در لایه اول و z نرون در لایه دوم ساخته می شود.

روند بکارگیری الگوریتم زنبور در زیر آمده است:

- ۱- تنظیم پارامترهای الگوریتم زنبور
- ۲- ایجاد جمعیت اولیه زنبورها
- ۳- محاسبه شایستگی زنبورها
- ۴- مرتب کردن زنبورها بر اساس شایستگی
- ۵- انتخاب زنبورهای نخبه و فرستادن زنبورهای سرباز به دور آن ها برای جستجوی محلی
- ۶- جستجوی سراسری با استفاده از زنبورهای غیرنخبه
- ۷- بررسی شرط توقف. اگر به شرط توقف رسیده باشد، الگوریتم پایان می پذیرد و در غیر این صورت به مرحله ۳ می رود. فلوجارت بهینه سازی MLP با الگوریتم زنبور در شکل ۵ آمده است.

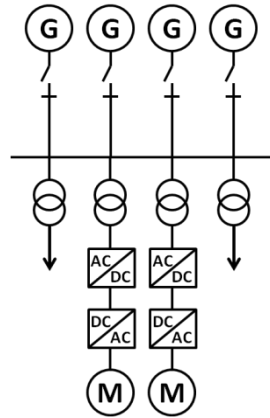


شکل ۵. فلوجارت پیشنهادی بهینه سازی MLP با الگوریتم زنبور

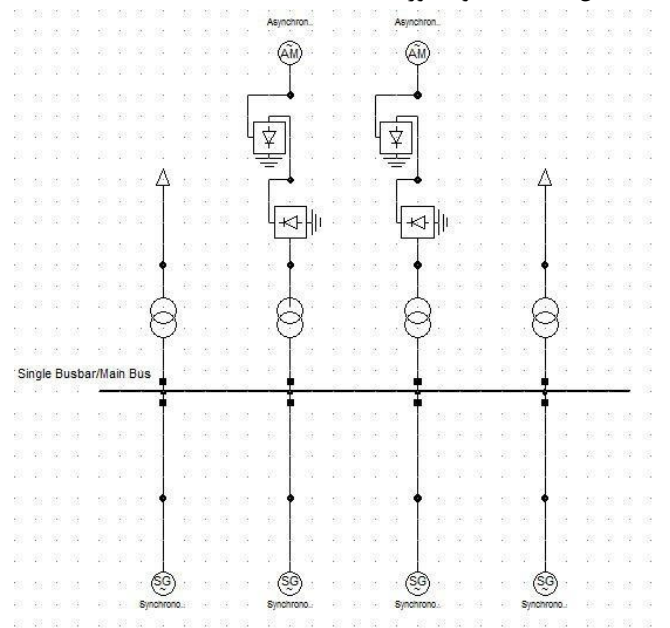
۳. نتایج

شکل ۷ مدل پیاده سازی شده در نرم افزار DigSilent را نشان می دهد. کابل اتصال ژنراتور که تجهیز مورد مطالعه در این مقاله است، از نوع AWG750 با عایق XHHW می باشد.

در این بخش الگوریتم پیشنهادی برای فیدر ویژه ای که برای اتصال ژنراتور در کشتی بکار میرود بصورت نرم افزار پیاده سازی می گردد. شکل ۶ دیاگرام تک خط شبکه مورد مطالعه (Zahedi et al., 2014) و



شکل ۶. شبکه نمونه مورد مطالعه (Zahedi et al., 2014).



شکل ۷. مدل پیاده سازی شده در نرم افزار DigSilent

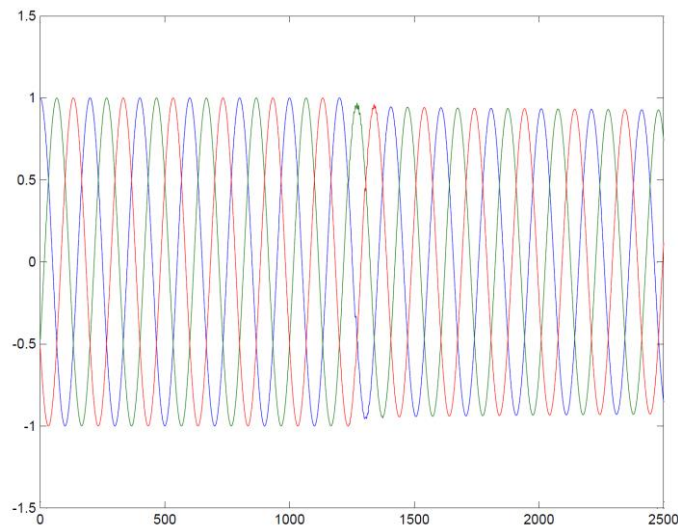
مشخصات شبکه شبیه سازی شده در جدول ۱ آمده است:

جدول ۱. مشخصات شبکه مورد مطالعه

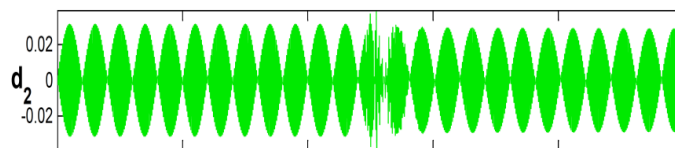
تجهیز	مشخصه	مقدار	واحد
کابل	مدل	AWG750	----
	امپدانس	$0.019 + j0.038$	اهم بر هزار فوت
ژنراتور	نوع عایق	XHHW	----
	جریان مجاز	۵۰۰	آمپر
	توان نامی	۳۰۰	کیلوولت آمپر
موتور	توان نامی	۱۷۵	اسب بخار

شکل‌های ۸ و ۹ مربوط به پدیده کلیدزنی قطع ژنراتور در $t=0.2$ ثانیه هستند که به عنوان پدیده غیر مرتبط می‌باشند. برای محاسبه فاکتور F1 در بخش آغازگر نیاز به تبدیل موجک سطوح ۲ و ۷ سیگنال ولتاژ می‌باشد لذا در شکل ۷ سیگنال ولتاژ سه فاز و تبدیل موجک سطوح ۲ و ۷ ولتاژ فاز a (به عنوان نمونه) آمده است. همچنین برای محاسبه فاکتور F2 بخش آغازگر می‌بایست تبدیل موجک سطح ۳ سیگنال جریان محاسبه شود، از این رو شکل ۸ سیگنال جریان سه فاز و تبدیل موجک سطح ۳ نشان داده شده است.

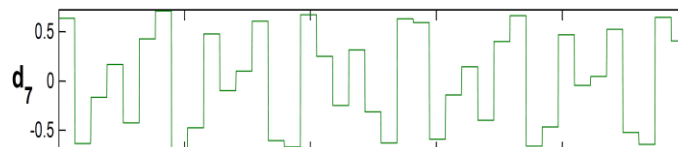
شبیه‌سازی برای ۵۸ شرایط مختلف انجام والگوریتم پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفته است. الگوریتم می‌بایست علاوه بر تشخیص پدیده‌های مرتبط، در مقابل پدیده‌های غیرمرتبط مقاوم باشد. برای این کار ۴۰ حالت خطا شامل ۴ نوع خطا مطابق با استاندارد IEEE 60909 در ده محل مختلف به عنوان پدیده مرتبط تعریف شده است. همچنین ۱۸ پدیده غیر مرتبط شامل کلیدزنی وصل، کلیدزنی قطع، ۱۲ حالت خطا در فیدر مجاور (۴ نوع خطا در سه محل مختلف)، ۴ تغییر ناگهانی تولید (۲ حالت کاهش و ۲ حالت افزایش به میزان ۴۰ و ۸۰ درصد) در نظر گرفته شد. فرکانس نمونه برداری برای تمام مراحل شبیه‌سازی ۱۰ کیلوهرتز در نظر گرفته شده است.



(الف)

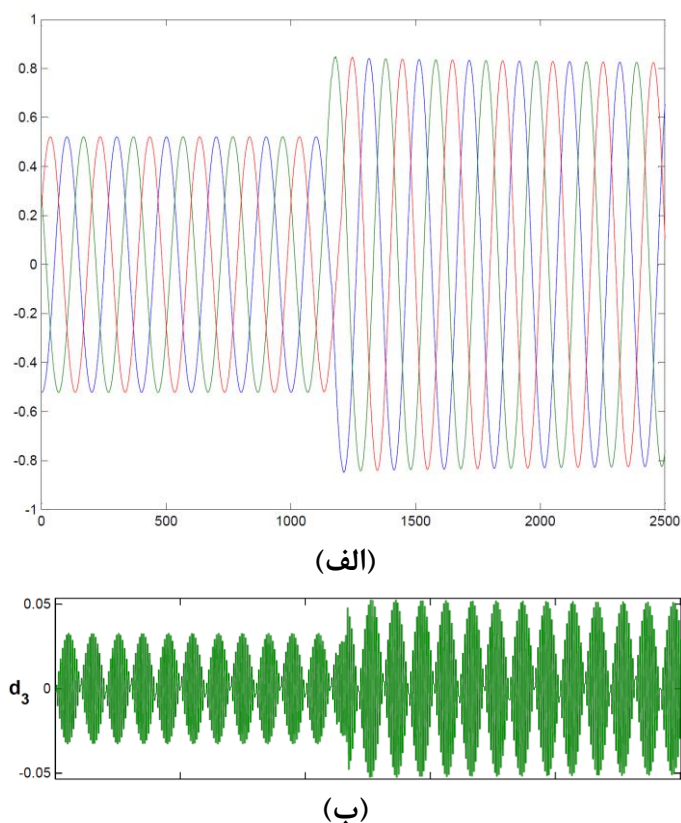


(ب)



(ج)

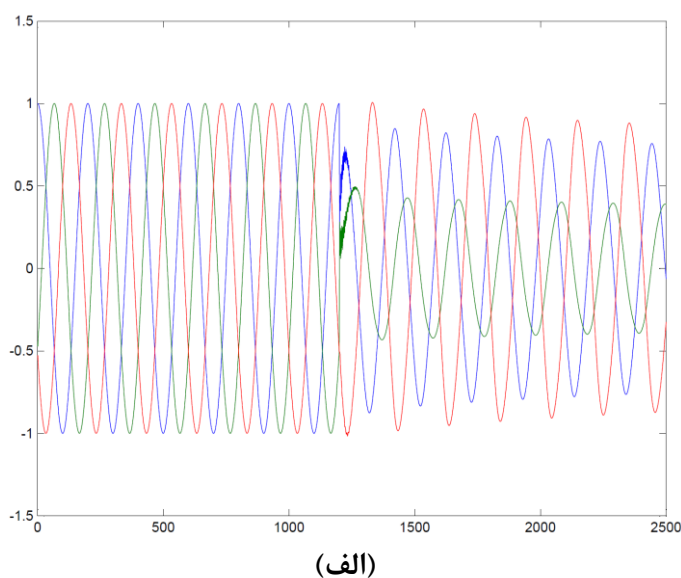
شکل ۸. سیگنال‌های مربوط به محاسبه F1 برای پدیده کلیدزنی قطع ژنراتور، الف) سیگنال ولتاژ سه‌فاز، ب) تبدیل موجک سطح دوم ولتاژ فاز a، ج) تبدیل موجک سطح هفتم ولتاژ فاز a

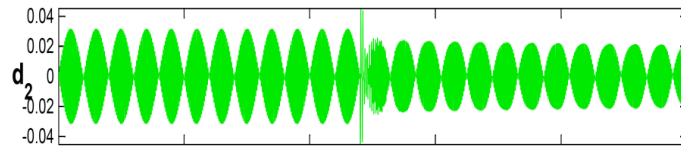


شکل ۹. سیگنالهای مربوط به محاسبه F2 برای پدیده کلیدزنی قطع ژنراتور، الف) سیگنال جریان سه فاز، ب) تبدیل موجک سطح سوم جریان فاز a

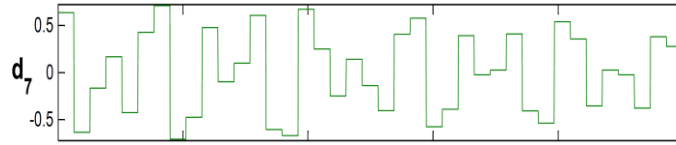
برای محاسبه فاکتور F1 در بخش آغازگر نشان داده شده است. همچنین در شکل ۱۱ سیگنال جریان سه فاز و تبدیل موجک سطح ۳ برای محاسبه فاکتور F2 آمده است.

به عنوان نمونه برای پدیده مرتبط، نتیجه شبیه سازی خطای دوفاز در $t=0.2$ ثانیه در شکل های ۱۰ و ۱۱ آمده است. در شکل ۱۰ سیگنال ولتاژ سه فاز و تبدیل موجک سطوح ۲ و ۷ ولتاژ فاز a (به عنوان نمونه)





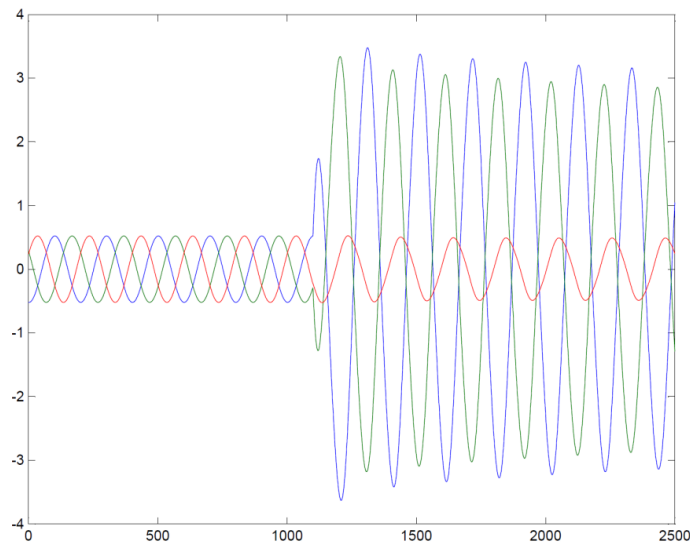
(ب)



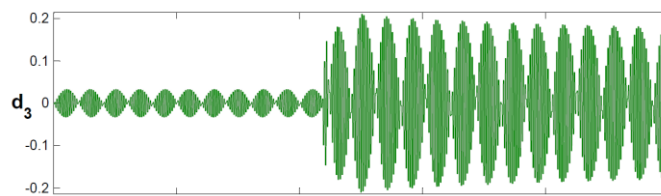
(ج)

شکل ۱۰. سیگنالهای مربوط به محاسبه F1 برای خطای دوفاز، الف) سیگنال ولتاژ سه فاز، ب) تبدیل موجک سطح دوم ولتاژ فاز a، ج)

تبدیل موجک سطح هفتم ولتاژ فاز a



(الف)

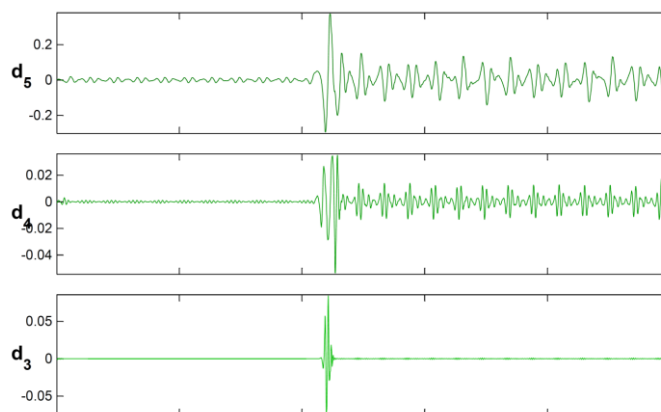


(ب)

شکل ۱۱. سیگنالهای مربوط به محاسبه F2 برای خطای دوفاز، الف) سیگنال جریان سه فاز، ب) تبدیل موجک سطح سوم جریان فاز a

فاز است را نشان می دهد و برای بخش تحلیل بکار می رود.

شکل ۱۲ تبدیل موجک سطوح ۲، ۳ و ۴ و ۵ جریان سه فاز مبتنی بر موجک HAAR که مرتبط با خطای ۲



شکل ۱۱. سیگنال موجک سطوح ۳، ۴ و ۵ جریان سه فاز

تمام حالت‌هایی که برای آموزش مورد استفاده قرار گرفته‌اند را در مرحله تست به درستی تشخیص دهد. همچنین از میان ۱۴ مورد تست که در مرحله آموزش حضور نداشته‌اند و به عنوان حالت کاملاً جدید برای الگوریتم محسوب می‌شوند، فقط ۱ مورد را به درستی تشخیص نداده است و این امر به معنای دقت بالای ۹۳ درصدی روش پیشنهادی می‌باشد.

از میان ۵۸ حالت شبیه سازی، ۷۵ درصد آنها (۴۴ مورد) برای آموزش شبکه عصبی و ۲۵ درصد (۱۴ مورد) برای تست الگوریتم پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته است. معیار تشخیص صحت عملکرد روش در تعیین محل خطا با دقت ۱٪ طول در نظر گرفته شده است. در جدول ۲ نتایج شبیه سازی آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم توانسته است

جدول ۲. نتیجه تشخیص محل خطا توسط الگوریتم پیشنهادی

مرحله آموزش	مرحله تست	
۴۴	۱۴	تعداد داده
۴۴	۱۳	تعداد تشخیص صحیح
۱۰۰	۹۳	دقت (%)

بهینه سازی شبکه MLP از الگوریتم زنبور استفاده گردید. برای پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی، فیدر کابلی ویژه‌ای که برای اتصال ژنراتور در شبکه برق کشی بکار می‌رود در نرم افزار DigSILENT شبیه‌سازی شد و کدنویسی الگوریتم در نرم افزار MATLAB انجام گردید. نتایج شبیه سازی حاکی از دقت ۹۳ درصدی الگوریتم در تشخیص صحیح محل خطا می‌باشد.

۴. بحث و نتیجه گیری

در این مقاله الگوریتمی هوشمند برای تشخیص و تعیین محل خطا در فیدرهای کابلی ویژه ارائه گردید که در آن از روشی ترکیبی مبتنی بر تبدیل موجک و شبکه MLP استفاده شد. الگوریتم پیشنهادی از دو بخش آغازگر و تحلیل تشکیل شده است تا در مقابل پدیده‌های غیرمرتبط عملکرد نداشته باشد. از طرفی برای افزایش سرعت عملکرد و کاهش حجم محاسبات از تحلیل مولفه اصلی بهره گرفته شد و همچنین برای

A. Ukil ; R. Zivanovic " Adjusted Haar Wavelet for Application in the Power Systems Disturbance Analysis", Digital Signal Processing, Elsevier, vol. 18, issue 2, pp. 103-115, 2015.

C.Wei ; W.Li "Analysis of the technology of cable fault detection and location online", Power Electronics and Applications (EPE), 2011.

C.Wei ; Wang Li "The study of Spread Spectrum Time Domain Reflectometry for cable fault detection and location on-line", Electric Information and Control Engineering (ICEICE), 2011.

B.Zahedi, E. Norum ,B. Ludvigsen "Optimized efficiency of all-electric ships by dc hybrid power systems", Journal of Power Sources, Volume 255, Pages 341-354, 2014.

W. Zhang "The arcing fault based multi-cycle incipient fault detection for underground cable", Electricity Distribution (CICED), 2016 .

C.Zhang ; X.Kang "On-line incipient faults detection in underground cables based on single-end sheath currents", Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), IEEE PES Asia-Pacific, 2016.

W.Zhang ; X.Xiao "Multicycle Incipient Fault Detection and Location for Medium Voltage Underground Cable", IEEE Transactions on Power Delivery , Volume: 32, Issue: 3, 2017.

H.Zhang ; G.Thomas "Fault detection on power cables based on ultrasound scans and 3rd order cumulants", Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings (I2MTC), 2016.

J.Zhang ; Y.Zhang "Analysis of Time-Domain Reflectometry Combined With Wavelet Transform for Fault Detection in Aircraft Shielded Cables", IEEE Sensors Journal , Volume: 16, Issue: 11, June1, 2016.

S.Zhang ; Z.He "Voltage Sag Profiles Based Fault Location in High Speed Railway Distribution System", IEEE Transactions on Industry Applications, 2017.

تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده با شماره قرارداد ۱۳۸ مورخ ۹۶/۴/۱۱ از محل اعتبارات ویژه پژوهشی دانشگاه علوم و فنون دریایی می باشد.

منابع

I.T. Jolliffe; " Principal Component Analysis", Springer-Verlang, 1986.

M.Jianmei ; W.Li "Research on online detection and location of multi-conductor cables' faults", IEEE International Conference, Prognostics and Health Management (ICPHM), 2016.

I.M.Karmacharya "Fault Location in Ungrounded Photovoltaic System Using Wavelets and ANN", IEEE Transactions on Power Delivery, Issue 99, 2017.

A.Laib ; M. Melit "A new hybrid approach using time-domain reflectometry combined with wavelet and neural network for fault identification in wiring network", Modelling, Identification and Control (ICMIC), 2016.

Z.Long ; N.H. Younan "Underground power cable fault detection using complex wavelet analysis", High Voltage Engineering and Application (ICHVE), 2012.

Panigrahi, Bijaya Ketan, **Shi**, Yuhui, **Lim**, Meng-Hiot;" Handbook of Swarm Intelligence Concepts, Principles and Applications", Springer, 2011.

A.Pandey ; N.H. Younan "Underground cable fault detection and identification via fourier analysis", High Voltage Engineering and Application (ICHVE), 2010.

Q.Shi ; O.Kanoun "Detection and location of single cable fault by impedance spectroscopy", Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings, 2014.

G.Shirkoochi "Modelling and simulation of fault detection in Shielded Twisted Pair cables", Industrial Technology (ICIT), IEEE 2016.

Application of intelligent protection algorithm in cable feeders

Mohammad Yousefi Kia¹, Ehsan Garib-Reza²

1. Lecturer of marine communication and electronic department, khorramshahr university of marine science and technology, khorramshahr, Iran

2. Khuzestan regional electric company.

(DOI): [10.22113/jmst.2018.102186.2069](https://doi.org/10.22113/jmst.2018.102186.2069)

Abstract

The ultimate goal of the electrical industry is to supply reliable energy. Therefore, accurate and on time detection of faults have always been the main concern of electrical utility users. In recent years, the use of cables has grown steadily and has made it difficult to detect faults and locations. If the cable network is intended for a particular application, such as a generator connection cable to industrial power grid, its importance will be increased, and the Lack of timely performance of the protection system will cause irreparable damage. In this paper, a novel method is proposed for detecting and determining the location of faults in cable using a combined wavelet transform algorithm and an optimized MLP network with a bee algorithm. In the proposed algorithm, two initialization modules and prediction analyzes are proposed to increase the selection capability. The algorithm is done by the DigSILENT and MATLAB software and implemented on the ship industrial cable network. The simulation results indicate an accuracy of 93% for the considered algorithm in determining the correct location of the fault.

keywords: Cable feeder, Wavelet transform, MLP network, Bee algorithm, Ship industrial network.

List of tables & figures

Figure 1. MLP network schematic

Figure 2. The general plan of algorithm

Figure 3. The flowchart of initialization module

Figure 4. The flowchart of analyzer module

Figure 5. The flowchart of MLP optimization with bee algorithm

Figure 6. The studied prototype network

Figure 7. F1 calculation signals for switching off generator, three phase voltage signal, 2nd level of wavelet transform for phase a voltage, 7th level of wavelet transform for phase a voltage

Figure 8. F2 calculation signals for switching off generator, three phase current signal, 3rd level of wavelet transform for phase a current

Figure 9. F1 calculation signals for phase to phase fault, three phase voltage signal, 2nd level of wavelet transform for phase a voltage, 7th level of wavelet transform for phase a voltage

Figure 10. F2 calculation signals for phase to phase fault, three phase current signal, 3rd level of wavelet transform for phase a current

Figure 11. 3rd, 4th and 5th levels of wavelet transform for three phase current

Table 1. The results of fault location detecting by proposed algorithm