مدیریت قطعی های توزیع با بهره گیری از هوش مصنوعی

محمدرضا گلسازشیرازی mshirazi@frec.co.ir

حسین نوذری hnozari@frec.co.ir

شرکت برق منطقه ای فارس

کلمات کلیدی : منطق فازی ، مدیریت قطعی ، سیستم خبره

چکیده

متدهای هوش مصنوعی می توانند کمک مؤثری باشند تا یک ابزار کمکی جهت افزایش کارآیی در سیستمهای توزیع نیرو فراهم گردد. این سیستم های هوشمند به مدل کردن بخشهایی از پروسه ها که خود نمی توانند به برنامه های عددی بزرگ منجرگردند، کمک می نمایند. به عنوان مثال می توان مسائلی را که با عدم قطعیت ها سر و کار دارند و موارد کاربرد ذهنی و ابتکاری آنها را نام برد. این چکیده رئوس مطالب و طرح کلی تلاش هایی که به منظور ارتباط دادن و آمیختن تکنیک های هوش مصنوعی با سیستم های مدیریت توزیع انجام شده است را معرفی می نماید.

این تلاش ها شامل استفاده از منطق فازی برای فیلتر کردن منابع متعدد اطلاعات مربوط به قطعی ها و همچنین سیستم های خبره برای شناسایی محل قطعی و سپس بازبینی و اثبات وضعیت های قطعی برق با استفاده از نمونه برداری می باشد. چنین تکنیک هایی به ما ای‌ن امکان را می دهد تا با پردازش اطلاعات اضافی، تکنیک های آنالیز واقعی تری را برای سیستم های توزیع فراهم نماییم.

۱- مقدمه

هر قدر که صنایع سعی می کنند که تصویر واقعی تری ازسیستمهای خود بدست آورند اهمیت سیستم های مدیریت قطعی برق بیشتر می شود. دربسیاری از مراحل مدیریت قطعی برق، سیستم های کامپیوتری نیازمندند که مشابه انسان با استفاده از استدلال تجربی و الگوبرداری نتیجه گیری نمایند. تکنیک های عددی سنتی، ارائه کردن برخی از این مباحث را دشوار می کند. به هرحال تکنیک های سیستم هوشمند یک طرح و نقشه عملی را برای بیان کردن این اطلاعات و داده ها فراهم کرده و سپس آن را برای کمک به حل مسائل یا تعیین یک حالت، ارائه نموده اند.

هدف این کار پژوهشی این است که ما چگونه می توانیم تکنیک های سیستم هوشمند را برای بهبود شناسایی زمان ابتدا و انتهای قطعی برق بکار گیریم، این امر مستلزم تصفیه کردن داده های ورودی برای کاهش حجم زیاد اطلاعات، از بین بردن عدم تطابق ها و جورکردن (یکی نمودن قالب) داده ها می باشد. وقتی که داده ها تصفیه شدند با استفاده از سیستم خبره و نمونه برداری، می توانیم محل قطع برق را با قاطعیت شناسایی کنیم.

درطول سالیان زیاد تلاش های متعددی به منظور استفاده از سیستم های هوشمند جهت مدیریت قطعی برق انجام پذیرفته است [٦ – ١]. در این مقاله طرح کلی دو تکنیک از سیستمهای هوشمند برای مدیریت قطعی برق، طرح ریزی و ارائه شده است. تکنیک *اول* استفاده از منطق فازی به منظور پردازش اطلاعات خام موجود قطعی برق می باشد که از سیستم SCADA[1]، شکایات تلفنی و سیستم های اندازه گیری خودکار (AMR[2]) بدست آمده است. با این تکنیک می توان با کارکردن بر روی اطلاعات مشکوک قطعی و دسته بندی و جورکردن سایر اطلاعات مشابه، حجم کوچکتر و البته مفیدتری ار اطلاعات را جهت ارسال به سیستم مدیریت قطعی فراهم نمود. بخش *دوم* دانشی را مورد بحث قرار می دهد که قوانین را جهت فیلتر نمودن داده ها برای تشخیص محل یک قطعی بکار می گیرد و از طریق نمونه برداری صحت نتایج بدست آمده را به تصویب می رساند.

٢- منطق فازی برای پایگاه جامع اطلاعات قطع برق

دربسیاری از سیستم های مدیریت توزیع، شکایات تلفنی مشترکین به عنوان یک منبع اطلاعاتی مهم جهت اطلاع یافتن از قطعی های فشارضعیف، به کاررفته است. سیستم اسکادای مترقی و توسعه داده شده توزیع، و توسعه های اخیر در سیستم های AMR، اطلاعات اندازه گیری بیشتری را درباره سیستم های توزیع پشت بریکر فیدر فراهم نموده است. اگر چه سیستم توزیع آنقدر پیچیده است که هیچ منبع اطلاعاتی نمی تواند به تنهایی اطلاعات بدون اشتباه قطعی برق را برای تعیین سریع و دقیق محل قطعی، مهیا کند. برای پردازش اطلاعات قطع برق، از الگوریتمی که با استفاده از منطق فازی طراحی و توسعه یافته است، استفاده می شود.

در این الگوریتم با استفاده از منطق فازی فیلتری طراحی شده است تا عدم قطعیت در اطلاعات قطع برق را با داده های متضاد تطبیق دهد. این فیلتر اطلاعات قطع برق بسیار دقیقی را برای سیستم مدیریت قطع برق توزیع به وسیله اطلاعات آمیخته و ترکیبی از شکایات تلفنی، AMR بدون سیم و اسکادای توزیع، فراهم نموده است.

فرایند فازی سازی شامل مشخص نمودن مجموعه های فازی وبیان درجه عضویت هر عنصر در این مجموعه فازی است که نتیجه آن تعیین شاخص های فازی برای هر عنصر می باشد. دراین الگوریتم، دو مجموعه از اطلاعات قطعی احتمالی از تمامی منابع وجود دارد : قطعی برق گزارش شده و قطعی برق گزارش نشده.

در مرحله بعدی برای شاخص قابلیت اطمینان ارائه شده برای هر منبع گزارش شده و براساس رویه تعیین صحت داده ها، می توان گزارش قطعی برق را طبقه بندی نمود. شاخص قابلیت اطمینان مهمترین پارامتر استفاده شده برای تعیین وزن تک تک گزارشهای قطعی برق در روشهایی است که با مسائل قطع برق سروکار دارند. گزارشات قطعی بر اساس شاخص های قابلیت اطمینان به ٣ مجموعه فازی گروه بندی شده اند : نبودن گزارش، گزارشات دارای اعتبار پایین، گزارشات دارای اعتبار بالا .

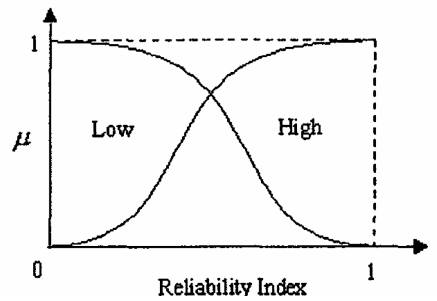
شاخص فازی هر عنصر به وسیله توابع فازی بدست می آیند. تعیین توابع عضویت فازی اصلی ترین کار در فرآیند منطق فازی است که یک شاخص قابلیت اطمینان را به شاخص فازی تبدیل می کند. توابع فازی مربوطه در بخش های بعدی توضیح داده خواهند شد .

الف –توابع عضویت فازی

همانگونه که در بالا اشاره شد ورودی آنالیز فازی، شاخص قابلیت اطمینان هر گزارش قطعی از لیست کاندید شده می باشد. توابع فازی s- شکل مجموعه های ورودی در شکل (١) نشان داده شده است در اینجا μ اندیس فازی است.

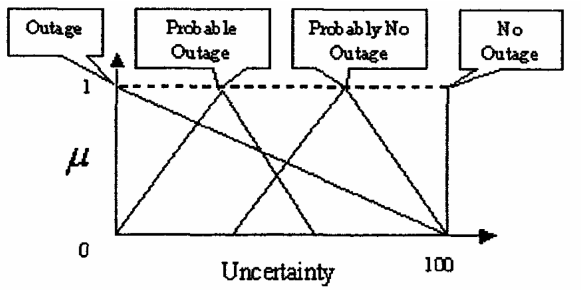
[1] - Supervisory Control and Data Acquisition
[2] - Automated Meter Reading

خروجی آنالیز فازی، عدم قطعیت هر گزارش قطعی در لیست کاندید شده می باشد. گزارشات با قطعیت پایین (درصد عدم قطعیت کمتراز ۵۰ درصد) در درون لیست اطلاعات قطعی نهایی قرار خواهند گرفت.گزارشات دیگر با عدم قطعیت بالا که معنای آن امکان غلط بودن قطعی های اعلان شده است، حذف خواهند گردید.



شکل (۱) : توابع عضویت مجموعه های فازی ورودی

بر طبق شرایط شبیه سازی مختلف و همچنین درخواست های گوناگون مصرف کنندگان، توابع خطی (مثلثی) و غیرخطی (زنگی شکل) هر دو، در این سیستم فازی پیش بینی شده است. علاوه بر این، کاربران می توانند محدوده های عدم قطعیت مجموعه های فازی را از طریق محیط های واسطه کاربری تعریف نمایند. به منظور ساده کردن فرایند، برای شبیه سازی اولیه از توابع عضویت خطی استفاده شده است. توابع عضویت خطی در شکل (۲) نشان داده شده اند.



شکل ۲۱) : توابع عضویت الگوریتم فازی

ب – قوانین فازی

همانطورکه در شکل (۲) نشان داده شده است چهار مجموعه فازی خروجی : *عدم قطعی، عدم قطعی احتمالی، قطعی احتمالی و قطعی* تعریف شده است. جدول (۱) قوانین فازی را نشان می دهد این قوانین مهمترین اجزای سیستم فازی هستند. آنها ارتباط بین مجموعه ها ی فازی ورودی و خروجی را ایجاد نموده اند. قوانین کامل و منطقی که بیشتر احتمالات و شرایط و موقعیت ها را پوشش می دهند، درستی و صحت نتایج فرایند فازی را تضمین خواهند نمود.

ج – جمع بندی

نتایج موارد آزمایش شده نشان می دهدکه پس از فیلترکردن اطلاعات، حجم اطلاعات قطعی پایه ۲۰ الی ۳۰ درصد کاهش یافته و اطلاعات باقیمانده با احتمال بیشتری حاوی گزارش قطعی واقعی می باشند. نتایج نشان می دهند که فیلترکردن اطلاعات، کمیت را کاهش و درعوض کیفیت اطلاعات را افزایش می دهد. همچنین این اطمینان را به لحاظ کافی بودن اطلاعات برای تشخیص محل قطعی، ایجاد می نمایند. با استفاده از اطلاعات قطعی فیلترشده، تعیین محل قطعی

می تواند دقیق تر و سریع تر انجام شود. جزئیات این فیلتر فازی و نتایج کار انجام شده بر روی چندین مثال از شبکه های توزیع را می توان در منابع [۷و۸] یافت.

جدول (۱) :قواعد فازی برای فیلتر اطلاعاتی

شماره	AMR	TC	SCADA	نتیجه
۱	خیر	خیر	خیر	عدم قطع برق
۲	خیر	خیر	پایین	احتمال عدم قطع برق
۳	خیر	خیر	بالا	احتمال قطع برق
٤	خیر	پایین	خیر	احتمال عدم قطع برق
٥	خیر	پایین	پایین	احتمال عدم قطع برق
٦	خیر	پایین	بالا	احتمال قطع برق
۷	خیر	بالا	خیر	احتمال قطع برق
۸	خیر	بالا	پایین	احتمال قطع برق
۹	خیر	بالا	بالا	احتمال قطع برق
۱۰	پایین	خیر	خیر	احتمال عدم قطع برق
۱۱	پایین	خیر	پایین	احتمال عدم قطع برق
۱۲	پایین	خیر	بالا	احتمال قطع برق
۱۳	پایین	پایین	خیر	احتمال قطع برق
۱٤	پایین	پایین	پایین	احتمال قطع برق
۱٥	پایین	پایین	بالا	قطع برق
۱٦	پایین	بالا	خیر	احتمال قطع برق
۱۷	پایین	بالا	پایین	احتمال قطع برق
۱۸	پایین	یالا	بالا	قطع برق
۱۹	بالا	خیر	خیر	احتمال قطع برق
۲۰	بالا	خیر	پایین	احتمال قطع برق
۲۱	بالا	خیر	بالا	احتمال قطع برق
۲۲	بالا	پایین	خیر	احتمال قطع برق
۲۳	بالا	پایین	پایین	احتمال قطع برق
۲٤	بالا	پایین	بالا	احتمال قطع برق
۲٥	بالا	بالا	خیر	احتمال قطع برق
۲٦	بالا	بالا	پایین	احتمال قطع برق
۲۷	بالا	بالا	بالا	قطع برق

خیر : عدم گزارش پایین : گزارش با قابلیت اطمینان پایین بالا : گزارش با قابلیت اطمینان بالا

۳- سیستم خبره برای تعیین محل قطعی و تصدیق آن

پیچیدگی تعیین محل قطعی در شرکت های توزیع برق مختلف، متفاوت است. در برخی از پروسه ها و فرایندهای دستی، اپراتورها قطع برق گزارش شده را بر روی یک نقشه علامت گذاری کرده و آنگاه بطور دستی و برمبنای تجربیاتشان آن را تجزیه و تحلیل می نمایند. درموارد دیگر، اپراتورها تجارب خود را با یک سیستم کامپیوتری موجود ترکیب می نمایند تا بتوانند محل قطعی را تخمین بزنند. مادامیکه تجارب انسانی با اطلاعات موجود ترکیب می گردد، این روش ها یک بستر مناسب و ایده آل را برای ساختن سیستم های خبره بنا خواهند نهاد.

یک روش تعیین محل قطعی و تأیید آن با KBS[3] ایجاد شده و توسعه یافته است. KBS از خروجی فیلتر فازی توضیح داده شده در بخش قبل استفاده می کند، که در برگیرنده مقدار کاهش یافته ای از اطلاعات قطعی دقیق و صحیح می باشد. روش سنتی تعیین قطعی و ویژگی قرائت آنی (به مجرد تقاضا) سیستم های بی سیم AMR ، با یکدیگر تلفیق شده تا اطلاعات دقیق تری را از تعیین محل قطعی ایجاد نمایند. با تجزیه و تحلیل می توان به عناصر قطع شده دقیقاً اشاره نمود و باروش نمونه برداری محل آن را تأیید کرد. این الگوریتم می تواند یک قطعی تنها و یا چندین قطعی همزمان را شناسایی کند. KBS محل قطعی را تعیین کرده و همچنین پیشنهاداتی برای کنترل های اضافه ارائه می نماید. از یک واسطه سیستم خبره G2 به عنوان ابزار روش تعیین محل قطعی KBS ، استفاده شده است.

الف – واقعیات

واقعیت ها کلید سیستم خبره (KBS) می باشند. بخش بزرگی از اطلاعات، مشتمل بر واقعیاتی است که برای توصیف توپولوژی سیستم و موقعیت تجهیزات سیستم، به کار رفته اند. به عنوان ویژگی عددی عناصر سیستم، باید تعدادی از مقادیر اولیه نیز فراهم شده باشند. به علاوه KBS به برخی حقایق خارج از سیستم نیز نیاز دارد که شامل گزارشات قطعی آنی و تغییرات لحظه ای توپولوژی سیستم می باشد.

ب - قوانین

قلب هرسیستم KBS توانائی استدلال درباره اطلاعاتی است که در آن قرار دارد. قوانین، اصلی ترین و مهم ترین اجزای استدلالی در G2 هستند. دو مکانیسم استنتاج اصلی وجود دارد که از قوانین بدست آمده بوسیله G2 استفاده می کنند : پروسه های اجراشده توسط رخداد (event-driven rules) وپروسه های اجراشده توسط داده (data-driven rules) .

G2 از طریق پاسخ به وقایع و رویدادهای آنی از طریق (event-driven rules) استنتاج میکند. برای مثال حرکت دادن یک عنصر و یا دریافت کردن یک مقدار. (data-driven rules) تغییرات در مقادیر استفاده شده عناصر و تریگر نمودن استنتاج ها را تشخیص می دهد، برای مثال می توان به روز نمودن مداوم سیگنالهای آنی را نام برد.

چهار نوع قوانین اصلی در G2 وجود دارد :

- If rules : بوسیله تست شرایط، پردازش data-driven را انجام می دهد .
- Whenever rules : با آشکارسازی رخداد، پردازش event-driven را انجام می دهد.
- Unconditional rules : هر وقت که G2 قوانین با مفهوم "هرچه" را درخواست کند، پردازش data-driven یا event-driven را انجام می دهد.
- Initial rules : با استناد به قاعده چه وقت KBS راه اندازی می شود، پردازش event-driven را انجام می دهد.

همانگونه که در بالا نیز اشاره شد می توان با تغییر یک رویداد یا مقدار، به قوانین استناد کرد. همچنین طبق یک رویه منظم و با مرور و بازبینی نظم دار قوانین، می توان قوانین را ارزیابی نمود. میتوان طول دوره مرور قوانین را در جدول ویژگی ها تعریف نمود به گونه ای که برنامه ریزان، کنترل کاملی بر روی فرکانس و تواتر به روزآوری داشته باشند. هر قانون نام خود و یا نام طبقه ای را که این قانون به آن تعلق دارد، داراست. G2 می تواند به یک قانون تنها بوسیله فراخوانی نام آن و یا گروهی از قوانین به وسیله خطاب کردن نام طبقه آن، استناد کند.

[3] - Knowledge-Based System

شکل (۳) فضای کاری ارسال و ویرایش قوانین در G2 را نمایش می دهد. قوانین تحت عناوین : *قوانین تعدیلی و قوانین نمونه برداری*، گروه بندی شده اند. همانگونه که قبلاً نیز معرفی شد، به هر قانون تنها نام اختصاصی و اسامی طبقه ها، داده شده است.

قوانین تعدیلی :

برای هر تجهیز حفاظتیD ، اگر تعداد وسایل قطع کننده پایین دست D بزرگتر یا مساوی ۲ و یا برابر با تعداد کل وسایل حفاظتی پایین دست باشد، آنگاه وضعیت D غیرفعال است.	برای هرمصرف کننده C اگر وضعیت C غیرفعال باشد آنگاه نتیجه می گیریم که وضعیت تجهیز متصل شده در ورودی C نیز غیر فعال است .
اگر وضعیت هر وسیله D غیرفعال باشد آنگاه رنگ آیکون آن به طلائی تغییر داده شود .	برای هرتجهیز D بدون قید و شرط، نتیجه می گیریم که تعداد کل وسایل قطع کننده پایین دست D برابر با مجموع کلیه اجزایی است که به خروجی D وصل شده است (دردسترس بودن عنصر)
اگر وضعیت گزارش هر مصرف کننده C درست باشد آنگاه رنگ آیگون آن به قرمز تغییر داده شده و نتیجه می گیریم که وضعیت C غیرفعال است	
اگر وضعیت هر عنصرO غیرفعال بوده آنگاه نتیجه می گیریم که نمایش دهنده قطعی فعال است (O=1) .	برای هرتجهیز D بدون قید و شرط، نتیجه می گیریم که تعداد کل وسایل قطع کننده پایین دستD برابر با مجموع کلیه اجزایی است که به خروجی D وصل شده است (نمایش دهنده قطعی هر عنصر)

قوانین نمونه برداری اندازه گیرها:

برای هر مصرف کننده C نسبت به مورد آزمایش اول، اگر قرائت دیماند C فعال بوده و آخرین گزارش زمان قطعی C بزرگتر از ۵ باشد آنگاه نتیجه می گیریم که وضعیت شاخص اندازه گیری C فعال است.	برای هر مصرف کننده C نسبت به موضوع آزمایش اول اگر قرائت دیماند C فعال و زمان آخرین گزارش C کوچکتر از زمان قطعی باشد آنگاه وضعیت اندازه گیری C نامعلو م است.
اگر وضعیت شاخص اندازه گیری هر مصرف کننده C نامعلوم باشد آنگاه رنگ آیکون C به قرمز تیره تغییر داده می شود.	برای هر مصرف کننده C نسبت به موضوع آزمایش اول اگر قرائت آنی دیماند C ذخیره شده و زمان آخرین گزارش C بزرگتر از زمان قطعی باشد آنگاه نتیجه می گیریم که وضعیت اندازه گیر C فعال است..
برای هر مصرف کننده C نسبت به مورد آزمایش اول ، اگر دیماند قرائت شده C غیر فعال و زمان آخرین گزارش C کوچکتر از زمان قطعی باشد آنگاه نتیجه می گیریم که وضعیت اندازه گیری C غیر فعال است و به اپراتور پایین تر از C اطلاع داده می شود که" *در ارتباط بین* MCC *و مرکز کنترل عیبی رخ داده است* "	برای هر وسیله D اگر وضعیت اندازه گیری هر مصرف کننده متصل شده به خروجی آن فعال باشد آنگاه وضعیت D نیز فعال است.

شکل (۳) :قواعد عمده در تعیین محل قطعی ها و تصویب آن با KBS

ج – واقعیات توسعه یافته

بیشترین مقادیر اولیه ویژگی های عددی به تعریف طبقه داده شده است. وقتی موضوعات طبقات مختلف ایجاد شدند، آن مقادیر اولیه حجم عمده بانک اطلاعات اولیه را تکمیل می نمایند و ویژگی های منحصر بفرد عناصر مختلف بایستی با استدلال اولیه، ارائه شود. پس از آنکه توپولوژی سیستم در G2 تعریف شد، قوانین مرتبط با توپولوژی جهت تعیین خواص توپولوژی هر یک از اجزا بصورت اتوماتیک همانگونه که در بخشهای قبلی توضیح داده شد، فرا خوانده می شوند. این قوانین هر دقیقه یکبار اسکن می شوند. هر تغییر توپولوژیک در این مدت یک دقیقه ای در جدول ویژگی های اجزای سیستم، نشان داده خواهد شد. یک قاعده اسکن شده نظم دار دیگر، قانونی است که تغییر وضعیت عنصر را تشخیص داده و تعداد تجهیزات قطع شده رو به پایین را به روز می کند. این قانون بر پایه ثانیه اسکن می شود. این قوانین همچنین می توانند با هر تغییر در وضعیت عنصر از داده ورودی آنی، تریگر شود (شروع به کار نماید). این موضوع باعث شده است که سیستم بتواند بصورت کاملاً مطمئن و آنی به روز شود.

د - خلاصه بحث

سیستم خبره ای که برای این الگوریتم ساخته شده قادر است هم قطعی هایی که در آنها چندین قسمت از شبکه دچار قطعی شده اند و هم قطعی های منفرد را شناسایی کند. با طراحی و اجرای یک طرح مؤثر نمونه برداری، سیستم می تواند محل دقیق وقوع قطعی را تعیین نموده و روشهای کنترلی اضافه ای را نیز پیشنهاد نماید. G2 به عنوان عنصر درون ساخته KBS دارای یک محیط کاربری گرافیکی و ساختاری شیء گرا می باشد. امکان پشتیبانی ساده پایگاه دانش باعث شده است تا سیستم دارای انعطاف زیادی باشد. فراخوانی قوانین خاص و ویژه، جستجو کردن و به روزآوری سیستم، باعث شده اند تا KBS در شرایط بهره برداری مختلف اجازه کنترل تمام و کمال را به اپراتور بدهد. آزمایشها نشان می دهد که نتایج تعیین محل قطعی بدست آمده از روش KBS نسبت به متدهای سنتی، از سرعت و کیفیت بالاتری برخوردارند. [۹ و ۸]

۴- نتیجه گیری

این مقاله دو کاربرد سیستم های هوشمند را برای کاربردهای مدیریت قطعی برق، بصورت کلی طرح ریزی نموده است. هدف این بود که نشان دهیم از تلفیق تکنیک های سیستم های هوشمند با متدهای عددی، می توان آنالیز انجام شده بر روی سیستم های توزیع را گسترش و توسعه داد. علاوه بر این می توان داده های دقیق تر و به روز تری را برای سیستم های توزیع فراهم نمود. این ابزارها به مدیریت پرسنلی شرکت های توزیع کمک می کند تا از تمامی اطلاعات موجود استفاده نموده و بهره برداری از شبکه را بهبود بخشند.

۵- مراجع

1. C. N. Lu, M. T. Tsay and Y. J. Hwang, "An Artificial Neural Network based trouble call analysis," IEEE Transactions on Power Delivery; 9 (3), July 1994,pp. 1663- 1668.

2. Ravi Balakrishnan and Anil Pahwa, "A computer assisted intelligent storm outage evaluator for power distribution system," IEEE Transactions on Power Delivery, 5 (3), July 1990, pp. 1591- 1597.

3. Chihiro Fukui and Junzo Kawakami, "An expert system for fault section estimation using information from protective relays and circuit breakers," IEEE Transactions on Power Delivery, PWRD- I (4),October 1986, pp. 83- 90.

4. Emesto Vazquez, Oscar L. Chacon and Hector J.Altuve, "An on- line expert system for fault section diagnosis in power systems," IEEE Transactions on Power Systems, 12 (l), February 1997, pp. 357- 362.

5. Eric Martinez and Earl F. Richards, "An expert system to assist distribution dispatches in the location of system outages," Proceedings of Rural Electric Power Conference, April 1991, pp. A2- 1 -A2- 5.

6. Krishna Sridharan and Noel N. Schulz, “Outage management through AMR systems using an intelligent data filter, ” IEEE Transactions on Power Delivery, in press.

7. Yan Liu and Noel N. Schulz, “Integrated Fuzzy Filter for Distribution Outage Information”,Electrical Power System Research, under review,

8. Yan Liu, Distribution System Outage Information Processing Using Comprehensive Data and Intelligent Techniques,” PhD Dissertation,Department of Electrical & Computer Engineering,Michigan Technological University, 200 1.

9. Yan Liu and Noel N. Schulz, “Knowledge- Based System for Distribution System Outage Locating using Comprehensive Information”, IEEE Transactions on Power Systems, under review.