

طراحی سیستم‌خبره مشاور در تعمیر و عیب‌یابی مدارهای الکترونیکی سایت موشک

ابراهیم شامانی^۱، مسعود مصدق‌خواه^۲

۱- نیروی هوایی سپاه ۲- دانشگاه امام حسین (ع)، دانشکده فنی مهندسی، گروه صنایع

چکیده

تعمیر و عیب‌یابی مدارهای الکترونیکی همیشه کار مشکل و وقتگیری بوده است و انجام این کار به دانش، توان علمی و تجربه فرد خبره (تعمیرکار) بستگی دارد. از طرفی الگوریتم یا راه حل عمومی خاصی وجود ندارد که بتواند تشخیص عیب را تضمین نماید و بخصوص برای سیستمهای الکترونیکی پیچیده مثل سایتهای موشکی، این مشکل حادث می‌شود. به تمامی فعالیت‌هایی که شخص عیب‌یاب با استفاده از وسایل اندازه‌گیری و با بهره‌گیری از توان علمی و تجربی خود و همچنین با توجه به نتایج و مشاهدات تست به محل عیب پی برده و قطعه یا قسمت معیوب را مشخص کند، "عیب‌یابی" اطلاق می‌شود. در این تحقیق، یک سیستم خبره جهت مشاوره در عیب‌یابی مدارهای الکترونیکی سایت موشکی طراحی شده است. در طراحی این سیستم خبره مبتنی بر قواعد، از روشهای مختلف عیب‌یابی استفاده شده است. پایگاه داده این سیستم شامل کلیه شکل موجهای نقاط مهم تست، نقشه‌های شماتیک، جانمایی قطعات الکترونیکی و دستورالعملهای تست قسمتهای مختلف سایت موشکی می‌باشد. این سیستم خبره دارای یک رابط کاربر گرافیکی است که با زبان ویژوال بیسیک برنامه‌نویسی نوشته شده است. پایگاه دانش این سیستم خبره در یک پوسته جدید به نام wxCLIPS نوشته شده است. این پوسته دارای موتور استنتاج با زنجیره پیشرو می‌باشد. اما با توجه به اینکه در کاربردهای تشخیص عیب بهتر است از زنجیره پسرو استفاده شود، این امکان در wxCLIPS وجود دارد که موتور استنتاج زنجیره پسرو با استفاده از قواعد زنجیره پیشرو شبیه‌سازی شود. این سیستم خبره دارای بخش توضیح می‌باشد و علاوه بر اینکه قوانین فعال شده و پاسخهای کاربر را نمایش می‌دهد، راجع به معرفی سایت موشکی، معرفی و چگونگی استفاده از وسایل اندازه‌گیری الکترونیکی، اصول عیب‌یابی، تئوری عملکرد و غیره اطلاعاتی ارائه می‌دهد. همچنین این سیستم خبره دارای یک بخش راهنما می‌باشد که راجع به نرم‌افزار طراحی شده و چگونگی استفاده از آن، اطلاعاتی به کاربر می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: سیستم خبره - الکترونیک - عیب‌یابی - موشک - wxCLIPS

۱- مقدمه

به کلیه فعالیت‌هایی که با استفاده از نیروی انسانی، امکانات و زمان، بتوان تجهیزات و وسایل سازمانی را در وضعیت قابل خدمت و عملیاتی نگه داشت و یا در صورت معیوب شدن، آنها را به وضعیت قابل خدمت و عملیاتی برگردانید، **نگهداری و تعمیرات (نت)** اطلاق می‌شود. در این مقاله در مورد عیب‌یابی و تعمیرات اصلاحی (نت پیشگیرانه) بحث خواهد شد. بطور کلی چهار رده نگهداری و تعمیرات جهت نگهداری عملیاتی سیستمهای نظامی وجود دارد که عبارتند از: اپراتورها، تعمیرات رده سازمانی، تعمیرات رده میانی و تعمیرات رده دپویی یا بازسازی. اساس و پایه تحلیل هر عیب مشاهده پدیده‌های غیرعادی ناشی از آن می‌باشد، لذا شخص عیب‌یاب بایستی با بهره‌گیری اصولی از توان علمی و دانش خود به تجزیه و تحلیل عیب بپردازد و با استفاده از وسایل اندازه‌گیری، تسترها و همچنین با توجه به نتایج حاصل از انجام چک و مشاهدات مربوط، مسیر مناسب را انتخاب نماید تا از طریق کوتاه‌ترین و ساده‌ترین راه ممکن به محل عیب برسد. بدیهی است تجربه عملی فرد عیب‌یاب نیز سهم بسزایی در انتخاب بهترین روش و سرعت عمل خواهد داشت. مدت زمان عیب‌یابی، از جمله پارامترهای مهم

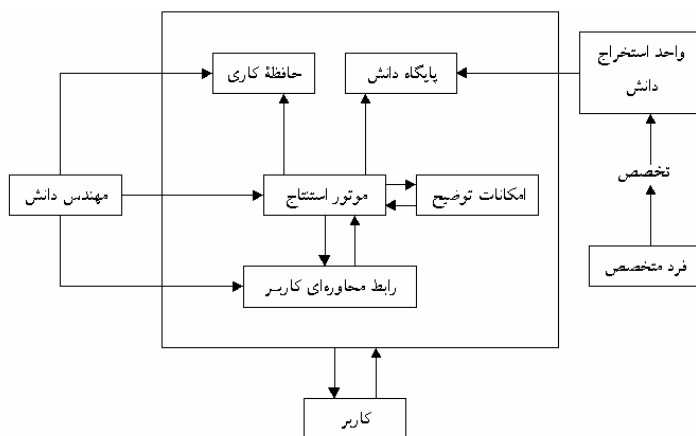
در حفظ وضعیت عملیاتی سیستم‌های نظامی است، عبارتی کاهش زمان عیب‌یابی یعنی افزایش توان رزم و وضعیت عملیاتی سیستم. در صنعت نیز کاهش این مدت موجب بهره‌برداری بیشتر از دستگاهها در جهت تولید می‌گردد. با توجه به اینکه سایتهای موشکی در نقاط مختلف کشور و در خارج از شهرها مستقر هستند اعزام تعمیرکار به محل و برطرف کردن عیب، هزینه‌بر و بسیار وقتگیر می‌باشد و در شرایطی که چند سایت بطور همزمان دچار عیب شوند، این مشکل حادث می‌شود. بنابراین بطور خلاصه مسایل و مشکلات موجود عبارتند از: محدودیت دسترسی به فرد خبره تعمیرکار و محدودیت زمانی و سرعت در تعمیر سیستم موشکی. از طرف دیگر با توجه به پیشرفت علوم کامپیوتری در زمینه هوش مصنوعی و بخصوص سیستمهای خبره، با طراحی یک سیستم خبره جهت مشاوره در امر عیب‌یابی مدارهای الکترونیکی سایت موشک، می‌توان علاوه بر کاهش مدت زمان عیب‌یابی، هزینه‌های مربوط به اعزام تعمیرکار به سایت موشک را نیز کاهش داد. همچنین این سیستم خبره می‌تواند به تعمیرکاران رده میانی و دیو کمک نماید. اخیراً سیستمهای خبره زیادی در حوزه تشخیص عیب طراحی شده است اما در زمینه عیب‌یابی مدارهای الکترونیکی و بخصوص در عیب‌یابی سایتهای موشکی منبعی مشاهده نشد. این مقاله، تلاشی در جهت برطرف نمودن نقیصه فوق‌الذکر می‌باشد. هدف کلی از طراحی این سیستم خبره، مشاوره به اپراتور و تعمیرکار رده سازمانی در امر عیب‌یابی سایت موشک، سرعت و دقت در تشخیص عیب می‌باشد و اهداف جزئی‌تر را بطور خلاصه عبارتند از: کاهش نیاز به حضور و مراجعه افراد خبره، آموزش به تعمیرکاران کم‌تجربه، کاهش هزینه‌های مربوط به تعمیر، تشخیص عیب و اعزام تعمیرکار، چگونگی مستندسازی نظرات خبرگان در امر تعمیرات، ایجاد یک پایگاه داده جهت جمع‌آوری سوابق و عیبهایی که در سایت موشک اتفاق می‌افتد و چگونگی برطرف کردن آنها.

این سیستم نمی‌تواند بهتر از یک فرد خبره عمل نماید و سعی می‌کند که اپراتورها و یا تعمیرکاران رده سازمانی را در جهت رفع عیب کامل، راهنمایی کند. اما در صورت برطرف نشدن عیب، سعی می‌شود که حتی‌الامکان محدوده عیب را مشخص نماید تا تعمیرکاران ذهن خود را در آن نقاط متمرکز نمایند. همانطوریکه یک فرد تعمیرکار ممکن است از عهده تشخیص و تعمیر بعضی از عیبها بر نیاید، این سیستم خبره نیز ممکن است نتواند بعضی از عیبهای مشکل و پیش‌بینی نشده را تشخیص دهد. در این صورت پیغام می‌دهد که به تعمیرکار رده بالاتر رجوع شود یا از نقشه شماتیک کمک گرفته شود. همچنین فرض می‌شود که اپراتورها و تعمیرکاران، آشنایی کامل به وظایف یونیتها و قسمت‌های مختلف در سایت موشک را دارند و پاسخهای صحیح به سیستم خبره می‌دهند.

در ادامه این بخش تحقیقات و روشهایی که در زمینه تشخیص عیب انجام گرفته و در مقالات متعددی دیده شده است معرفی می‌گردد. در زمینه تعمیر و عیب‌یابی مدارهای الکترونیکی و بخصوص تشخیص عیب در سایتهای موشکی، سیستم خبره‌ای در منابع مشاهده نشد (احتمالاً به دلیل محرمانه بودن و طبقه‌بندی اطلاعات نظامی از در اختیار گذاردن آنها جلوگیری به عمل آمده است). ولی در زمینه تشخیص عیب در سیستمهای قدرت و فرایندهای شیمیایی تحقیقات زیادی صورت گرفته است. در سیستمهای قدیمی تشخیص خطا¹ به وسیله جدولی از خطاهای احتمالی که شامل اطلاعات مربوط به رله‌های آلامر داده، کلیدهای تریپ‌داده²، محل خطا و نوع خطا بوده و از قبل تهیه شده بود، انجام می‌گرفت. این روش برای خطاهای ساده، مانند حالت «یک خطا و عملکرد درست تجهیزات حفاظتی»، به درستی عمل می‌نماید. با این وجود در حالت «یک خطا با عملکرد نادرست تجهیزات حفاظتی (شامل فعال شدن و یا فعال نشدن نادرست بعضی از رله‌ها و کلیدها) و یا با داشتن سیگنالهای گم‌شده یا وجود نویز «یا» خطاهای چندگانه همزمان «که غالباً در حالت رعد و برق پیش می‌آید»، پردازش سیگنالها تا حدی پیچیده است و این روش تشخیص، کارایی لازم را ندارد. به این دلیل، تشخیص خطا از اولین کاربردهای سیستمهای مبتنی بر دانش در سیستم قدرت بوده است. تکنیک استفاده از سیستم خبره بعنوان ابزار کمکی در بهره‌برداری، برای اولین بار توسط Dylacco در سال ۱۹۶۹ ارائه شد.

۲- ساختار سیستم خبره پیشنهادی

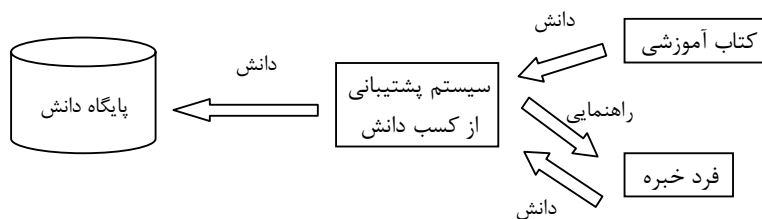
در شکل ۱ ساختار این سیستم خبره نشان داده شده است. همانطوریکه در شکل ملاحظه می‌گردد، این سیستم خبره از واحدهای مختلفی تشکیل شده است که در بخشهای بعدی راجع به هر کدام از اجزا آن بحث می‌شود.



شکل ۱: ساختار سیستم خبره

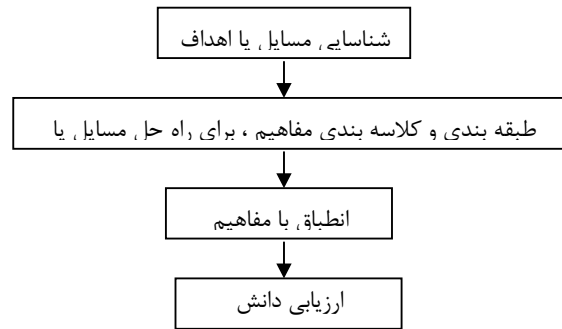
۳- واحد اکتساب دانش

وظیفه این واحد، کسب دانش از متخصصین و سازمان دادن آن در پایگاه دانش می‌باشد. این بخش یکی از مهمترین بخشهای سیستم می‌باشد و اعتبار مدل به این بخش بستگی دارد. حتی اگر یک نمایش دانش انعطاف‌پذیر برای یک موتور استنتاج قوی نیز تدارک دیده شود، پایگاه دانش ضعیف باعث می‌شود که سیستم توانایی و کارایی بالایی نداشته باشد. بنابراین کسب دانش نقش مهمی را در ساخت سیستم خبره ایفا می‌کند. اکتساب دانش بعلت مشکلی که متخصصین در توضیح تخصص خود با آن مواجهند یکی از دشوارترین مراحل در ساختن سیستم‌های خبره بشمار می‌رود. از آنجاییکه معلومات چنین اشخاصی طی سالها تجربه کسب شده است، اینگونه علوم برای متخصص حالت طبیعی و غیر قابل توضیح پیدا می‌کند. دو دیدگاه برای کسب دانش وجود دارد. یکی روشهایی برای پشتیبانی از استخراج تخصص می‌باشد. به عبارتی، سیستمهای پشتیبانی می‌توانند برای استخراج دانش از متخصصان حوزه به جای مهندس دانش استفاده کنند. این دیدگاه در شرایطی که کشفیات افراد خبره نقش مهمی را بازی می‌کنند، از کارایی زیادی برخوردار می‌باشد. بطور کامل این امکان وجود دارد که دیدگاه مذکور، تمامی فرایندهای فرعی کسب دانش را پشتیبانی نماید.



شکل ۲: پشتیبانی از استخراج تخصص

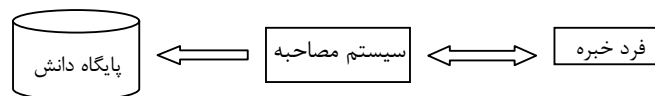
روش دیگر، درک و حصول مکانیزم یادگیری^۱ است. این روش به کسب دانش خودکار اشاره می‌کند و به این معنی است که دانش جدید می‌تواند بر پایه آزمایش ایجاد گردد. در این پروژه از دیدگاه اول برای کسب دانش استفاده شده است و مراحل آن در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: مراحل کسب دانش

برای کسب این معلومات از روشهای گوناگونی استفاده شده است که عبارتند از:

- کسب دانش بوسیله مصاحبه آزاد با تعمیرکاران با تجربه و متخصصان سیستم موشکی: یکی از روشهای بسیار مفید برای استخراج و اقتباس دانش جدید از متخصصان حوزه دانش، مصاحبه می باشد. کسب دانش بوسیله مصاحبه به پشتیبانی استخراج دانش، بدون مهندس دانش کمک می کند. شکل ۴ ارتباط بین فرد خبره و پایگاه دانش را نشان می دهد.



شکل ۴: ارتباط بین فرد خبره و پایگاه دانش

همانطوریکه در این شکل نشان داده شده است، ممکن است فرد خبره دانش جدیدی را به پایگاه دانش تخصیص دهد یا از دانش ذخیره شده در این پایگاه آگاه شود.

- کسب دانش بوسیله مطالعه جزوات سیستم موشکی
- کسب دانش بوسیله تجزیه و تحلیل نقشه های شماتیک سیستم موشکی: نقشه های شماتیک علاوه بر اینکه ساختار مدار و اتصالات المانهای الکتریکی را نمایش می دهند، حاوی اطلاعات ارزشمندی از قبیل شکل موجهای ورودی و خروجی هر یونیت، شکل موجها و مقادیر ولتاژ بعضی از قسمت های مهم مدار و همچنین نام یا وظیفه هر قسمت از مدار یا بلوک می باشد.
- ارایه یک مساله (عیب) به متخصص و مشاهده و ثبت راه حل برطرف کردن آن.
- زیر نظر قراردادن و نظارت بر فعالیتهای یک متخصص به هنگام رفع عیب: در این روش هنگامی که سیستم موشکی دچار عیب شد، کلیه اعمال، فعالیتهای و مراحل که تعمیرکار طی می کند تا عیب برطرف شود را ثبت می کنیم.
- مطالعه سوابق و حکم کارهای سیستم: در صورتیکه سایت موشکی دچار عیب شود، این حکم کارها توسط فرمانده سایت موشکی و به درخواست مسئول واحد محاسبه مختصات موشک و هدف، صادر شده و به رده بالاتر جهت اعزام تعمیرکار فرستاده می شود. پس از تعمیر سایت موشک و اتمام کار، شرح کارکرد تعمیرکار و قطعات استفاده شده جهت تعمیر سایت موشکی، توسط تعمیرکار گزارش داده می شود.

۴- واحد پایگاه دانش

پایگاه دانش، همانطوریکه از نامش پیداست بخشی است که در آن، دانش یک سیستم خبره انباشته شده است. این واحد یکی از مهمترین بخشهای سیستم خبره است زیرا کیفیت این بخش تعیین کننده چگونگی برخورد کار بر یا متخصص با

سیستم می‌باشد. آنچه در این میان از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است، نحوه نمایش دانش است. همانطوریکه قبلاً ذکر شد، چون این سیستم خبره مبتنی بر قاعده است بنابراین برای نمایش دانش از روش قواعد تولید استفاده شده است. پایگاه دانش این سیستم خبره شامل پنج قسمت می‌باشد که عبارتند از: پایگاه داده قواعد، پایگاه داده دستورالعمل چکها، پایگاه داده نقشه های شماتیک، پایگاه داده جانمایی قطعات و پایگاه داده شکل موج سیگنالها.

۴-۱- پایگاه داده قواعد

این پایگاه شامل مجموعه قواعدی است که توسط واحد کسب دانش سیستم خبره حاصل شده است. این قواعد به شکل "اگر ... آنگاه" می‌باشند که دانش فرد خبره در آن ذخیره می‌شود و استنتاج سیستم خبره براساس این قواعد صورت می‌گیرد. در این سیستم خبره، قواعد در سه بخش طبقه بندی می‌شود:

۱. قواعدی که یک توصیه مناسب را به کاربر ارائه می‌دهد و از او می‌خواهد که عملی را انجام دهد که به آنها قواعد رویه‌ای می‌گویند.

IF "آیا لامپ *Once Command* روشن است؟" AND Yes =

Yes = "آیا زمان ارسال *K3* برابر با *۱۱,۵* ثانیه است؟"

"اتصالات لامپ را بررسی کنید. ممکن است اتصالات سوکت *CH3* قطع باشد."

۲. قواعدی که برای نمایش دانش حل مساله استفاده شده‌اند و بصورت یک قاعده شاخص تفسیر می‌شوند که به آنها قواعد تجربی یا هیوریستیک می‌گویند.

IF "آیا رله *J14* فعال شده است؟" AND No =

Yes = "آیا ولتاژ دو سر بوبین آن برابر با *26 V* است؟"

"رله *J14* معیوب است."

۳. قواعدی که برای نمایش روابط اشیاء و موضوعات در دامنه استفاده می‌شوند که به آنها قواعد دامنه یا محدوده می‌گویند.

IF "آیا لامپ *Baloon* روشن شده است؟" AND Yes =

Yes = "آیا رله *J7* فعال شده است؟"

"عیب، مربوط به واحد *2X* می‌باشد."

۴-۲- پایگاه داده دستورالعمل چکها

برای عیب‌یابی واحد محاسبه مختصات هدف و موشک، ابتدا آنرا به پنج یونیت تقسیم کرده و هر یونیت را نیز به چندین بلوک کوچکتر تقسیم نمودیم تا عمل عیب‌یابی ساده‌تر و دقیق‌تر انجام شود. برای بررسی و عیب‌یابی این بلوکها، دستورالعملهایی توسط افراد خبره طراحی شد که هر کدام از آنها یک یا چند بلوک را تنظیم و عیب‌یابی می‌کند. هر کدام از این بلوکها دارای یک یا چند ورودی و خروجی می‌باشند و وظیفه خاصی را بر عهده دارند. در صورتیکه ورودیهای مناسب و صحیح به این بلوکها وارد شوند، در صورت سالم بودن آن بلوک، خروجی صحیح و مورد نظر را تولید می‌کند. نمونه‌ای از این بلوکها عبارتند از: بلوک انتگرال‌گیر، ضرب‌کننده، جمع‌کننده، مشتق‌گیر، تطبیق امیدانس، انواع تقویت کننده‌ها و ... هر کدام از این بلوکها دارای حداقل یک ورودی می‌باشند که با پردازش بر روی آنها خروجی مناسب را تولید می‌کنند. خروجی این بلوک می‌تواند به یک یا چند خروجی وارد شود که برای آنها ورودی محسوب می‌شود و به همین ترتیب بلوکهای دیگر نیز هر کدام وظیفه خاصی داشته و با پردازش ورودیهای خود، خروجی مناسب را تولید می‌کنند. اگر حداقل یکی از این بلوکها معیوب بوده یا تنظیم نباشند، سایت موشک کار خود را به خوبی انجام نمی‌دهد و در حالت شبیه‌سازی شلیک موشک، بصورت عیب یا عیبهایی ظاهر می‌شود. در صورتیکه تعمیرکار یا اپراتور در مورد عیب مورد نظر هیچگونه

اطلاعاتی نداشته باشد و آن عیب قبلا رخ نداده باشد باید هر کدام از این بلوکها را جداگانه تست کند. برای تست هر کدام از این بلوکها دستورالعملهایی طراحی شده است که در یک پایگاه داده ذخیره می‌شود و از اپراتور می‌خواهد که آنها را انجام دهد و نتیجه را اعلام کند.

۴-۳- پایگاه داده نقشه‌های شماتیک

کلیه نقشه‌های شماتیک بلوکها در این پایگاه ذخیره شده‌اند. در هنگام عیب یابی بلوکها، تعمیرکار می‌تواند نقشه مربوط به آن بلوک را براحتی فراخوانی نماید تا با یک دید بهتری عیب یابی را انجام دهد در صورتیکه سیستم‌خبره در رفع عیب ناتوان بود، وجود نقشه شماتیک برای ادامه کار توسط تعمیرکار رده بالاتر (رده دیو) ضروری است. این نقشه‌ها توسط نرم‌افزار پروتل (PROTEL 99SE) طراحی شده‌اند و با پسوند sch در این پایگاه ذخیره شده‌اند.

۴-۴- پایگاه داده جانمایی قطعات

با توجه به پیچیدگی و تعداد بسیار زیاد قطعات استفاده شده در یونیتها جستجوی المانها برای چک کردن توسط اپراتور مشکل، وقتگیر و خسته‌کننده بوده و با وجود ولتاژهای بالا (از قبیل ۲۲۰ ولت، ۲۵۰ ولت و ۵۰۰ ولت) می‌تواند خطراتی برای اپراتور بوجود بیاورد. بنابراین جانمایی تمام المانها و محدوده آنها روی تصاویر نشان داده می‌شود و درخواستهای تعمیرکار با تصاویری از جانمایی قطعات همراه می‌باشد تا تعمیرکار به سرعت قطعه را پیدا کرده و درخواستهای سیستم خبره را انجام دهد.

۴-۵- پایگاه داده شکل موجها

کلیه شکل موجهای ورودی و خروجی بلوکها، نقاط تست، پایه قطعات و نقاط حساس، در حالتیکه سایت موشک سالم است توسط اسیلوسکوپ دیجیتال اندازه‌گیری شده و بعنوان سیگنالهای مبنا در این پایگاه ذخیره می‌شود. گاهی اوقات سیستم خبره از تعمیرکار می‌خواهد که شکل موج نقطای از مدار را اندازه‌گیری کرده و با سیگنالهای مبنا آن نقاط مورد نظر در این پایگاه مقایسه کند و نتایج را به سیستم خبره اطلاع دهد. همچنین در صورتیکه سیستم‌خبره برای انجام عیب‌یابی ناتوان باشد، فرد تعمیرکار می‌تواند براحتی به کلیه سیگنالهای مبنا دسترسی پیدا کند و با سیگنالهای مورد نظر، درحالی که سایت معیوب است مقایسه کند. این داده‌ها بصورت فایل‌هایی از نوع Bitmap ذخیره می‌شوند.

۴-۶- پایگاه داده عیوب و خطاها

برای مقابله با عیوب، دانستن کلیه عیبه‌ها و مشخصات هر عیب مفید می‌باشد. اگر عیوب و مشخصات آنها در یک بانک اطلاعاتی وارد شود می‌توان با دانستن علائم موجود، عیبه‌های محتمل را پیش بینی نمود. در حقیقت مشخصات عیب عبارتست از: نوع عیب، آن عیب مربوط به کدام چک یا چک‌هایی می‌باشد، عیب مورد نظر چه یونیت یا یونیت‌هایی را دربرمی‌گیرد و ... تجربه نشان داده است که بیشتر عیبهایی که اتفاق می‌افتند، تکراری می‌باشند. بانک اطلاعاتی عیوب می‌تواند ابزار مفیدی در عیب یابی تلقی شود و توسط این ابزار، اپراتور قادر است با در دست داشتن اثر یا نشانه‌های عیب، به خود عیب برسد و در جهت رفع عیوب اقدامات لازم را بعمل بیاورد. فایده بانک اطلاعاتی عیوب، جلوگیری از انجام عملیات تکراری و کاهش زمان تشخیص در رفع عیب می‌باشد.

با توجه به مطالبی که ذکر شد، محتویات این پایگاه داده شامل لیست کلیه عیبهایی که تاکنون در این سایت موشکی رخ داده است و روش برطرف کردن آنها می‌باشد. از آنجاییکه دانش حل مساله روز به روز توسعه می‌یابد لذا اعتبار پاسخهای تولیدشده بوسیله این سیستم خبره رفته رفته کاهش می‌یابد، بنابراین مساله نگهداری و به‌روز بودن این سیستم خبره، پراهمیت است لذا این امکان وجود دارد که عیبه‌ها و خطاها به همراه روش برطرف کردن آنها که بعداً رخ خواهد داد به این پایگاه داده اضافه شود تا به این ترتیب این پایگاه داده به مرور زمان توسعه یابد.

۵- موتور استنتاج

موتور استنتاج برنامه‌ای است که قواعد و دانش انباشته شده در پایگاه دانش را تحلیل کرده و به نتیجه‌گیری منطقی راه می‌یابد. موتور استنتاج در حقیقت ستون فقرات یک سیستم خبره است زیرا شامل تکنیک‌هایی است که سیستم خبره توسط آنها مسایل را حل می‌کند. در سیستم‌های مبتنی بر قاعده، موتور استنتاج به این صورت کار می‌کند که یک قاعده را برای تست انتخاب می‌کند و بررسی می‌کند که آیا شرایط این قانون صحیح هستند یا خیر. این شرایط ممکن است از طریق سؤال از کاربر بررسی شود و یا ممکن است از واقعیت‌هایی ناشی شود که در طول مصاحبه بدست آمده‌اند. وقتی شرایط مربوط به یک قاعده صحیح باشند آنگاه نتیجه آن قاعده نیز درست خواهد بود. پس این قاعده فعال شده و نتیجه آن به پایگاه دانش افزوده می‌شود. همچنین ممکن است این نتیجه به عنوان اطلاعات در واسط کاربر نمایش داده شود. باید توجه داشت که فرضیات اولیه و چگونگی استنتاج و کمک گرفتن از قسمت‌های اضافی برای تأیید یا رد یک نظریه، مسایل مهمی در عیب‌یابی هستند. بنابراین فرآیند عیب‌یابی در دو مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول فرضیات و نظریه‌های قابل قبول و محتمل به مرحله دوم راه می‌یابند.

در مرحله دوم با ارزیابی نظریات سعی در محدود کردن و کم کردن دامنه آنها می‌شود و عمل جستجو در سلسله مراتب آنها برای یافتن جزء (عنصر) معیوب ادامه می‌یابد. نتیجه کار به مرحله اول برمی‌گردد تا برخی از نظریات غیرمعقول حذف شوند. این انتقال بین مرحله اول که شکل دهی و حذف نظریات است و مرحله دوم که ارزیابی آنها می‌باشد، تا بدست آمدن راه حل نهایی ادامه می‌یابد.

۵-۱- فرآیند عیب‌یابی

جهت طراحی این سیستم خبره، ابتدا مسأله را شکسته و به مسایل کوچکتر تقسیم می‌نماییم و به این صورت که مدارهای الکترونیکی مربوط به واحد مختصات هدف و موشک را بر اساس وظایف و محاسباتی که انجام می‌دهند، به پنج واحد (یونیت) تقسیم نموده و هر یونیت را نیز به بلوک‌های کوچکتری تقسیم می‌نماییم. سپس برای تست هر بلوک چک‌هایی تعریف نموده و دستورالعمل‌هایی جهت انجام چک‌ها تنظیم می‌نماییم. این چک‌ها نیز از مراحل مختلفی تشکیل شده‌اند که هر کدام از مراحل بلوک‌های ساده را تست می‌کنند. جهت انجام این چک‌ها، کاربر باید طبق دستورالعمل، اعمالی را انجام دهد. بعنوان مثال ولتاژ و شکل موج قسمت‌هایی از مدار را اندازه‌گیری نماید و نتیجه را با مقادیر تعریف شده مقایسه کند. در صورتیکه این مقادیر با مقادیر تعریف شده مطابق باشد، انجام آن مرحله از چک با موفقیت به پایان می‌رسد و بنابراین بلوک ساده مورد نظر سالم می‌باشد. اگر تمام مراحل یک چک در حالت نرمال باشد، آن چک با موفقیت انجام شده و وارد چک بعدی می‌شویم در غیر اینصورت بلوک مورد آزمایش معیوب می‌باشد. از این به بعد واحد استنتاج شروع به کار کرده و از کاربر سؤالاتی می‌کند که کاربر باید به آنها پاسخ صحیح و درست بدهد.

۵-۲- درخت تصمیم

جهت نمایش واحد استنتاج، از درخت تصمیم استفاده شده است زیرا:

اولاً یک ساختار تصمیم‌گیری هم یک طرح نمایش دانش و هم روشی برای استدلال درباره دانش خود می‌باشد. ثانیاً درخت‌های تصمیم پاسخگوی مسایلی هستند که دارای یک مجموعه جواب‌های ممکن می‌باشند که از پیش تعیین شده‌اند که معمولاً مسایل رده‌بندی و تشخیص با ساختار مواجه می‌شوند. بعنوان مثال رده‌بندی و طبقه‌بندی عیبها با استفاده از درخت تصمیم در شکل ۵ نشان داده شده‌است و همچنین یک مسأله تشخیص ممکن است که به انتخاب یک علت خطا از میان مجموعه‌ای از علت‌های ممکن، نیاز داشته باشد. همانطوریکه در شکل ۶ جهت فرآیند عیب‌یابی و تشخیص خطا از درخت تصمیم استفاده شده است.

ثالثاً درختهای تصمیم‌روشی هستند که بوسیله مجموعه‌ای از راه‌حلهای ممکن همراه با یک مجموعه‌ای از تصمیمات یا پرسشهایی که فضای جستجوی درخت تصمیم را کاهش می‌دهند، ناشی می‌شوند. به این ترتیب که ابتدا مجموعه‌های بزرگتری از راه‌حل‌ها تحت بررسی قرار می‌گیرد و سپس با تبدیل این مجموعه‌های بزرگ به مجموعه‌های کوچکتر ممکن، فرآیند تصمیم‌گیری (عیب‌یابی) آغاز می‌شود و در نتیجه محل قرارگیری عیوب در آخرین و کوچکترین شاخه‌های هر درخت قرار می‌گیرد. همانطوریکه ملاحظه می‌گردد، فرآیند عیب‌یابی شامل انجام تعدادی چک می‌باشد که هر کدام از این چکها دارای مراحل است که بلوکهای کوچکتر را تست می‌کند. در صورتیکه انجام هر کدام از این مراحل با موفقیت انجام شد و به پاسخهای نرمال رسیدیم، بلوک مورد نظر سالم است و در غیراینصورت آن بلوک معیوب بوده و وارد مرحله عیب‌یابی می‌شویم (شکل ۶). جهت عیب‌یابی هر یک از بلوکهایی که مربوط به مرحله‌ای از چک می‌باشند، تعدادی قواعد وجود دارد که به زبان wxCLIPS نوشته شده و در فایل‌های جداگانه‌ای از نوع clip (با پسوند clip) ذخیره شده‌اند و در صورتیکه مرحله‌ای از چک با موفقیت انجام نشد، فایل مربوط به آن فراخوانی شده و موتور استنتاج wxCLIPS با استفاده از پایگاه دانش خود سؤالاتی را از کاربر می‌پرسد و سیستم خبره با استفاده از پاسخهای کاربر، تجزیه و تحلیل کرده و عیوب محتمل را شناسایی می‌کند و یا عیوب موجود را در محدوده مشخصی به صورت لیست در اختیار کاربر قرار می‌دهد و دوباره از کاربر می‌خواهد تا بلوک بعدی را تست نماید. در صورتیکه این سیستم خبره نتوانست عیب را پیدا کند، از کاربر درخواست می‌کند که از نقشه مربوطه کمک بگیرد.

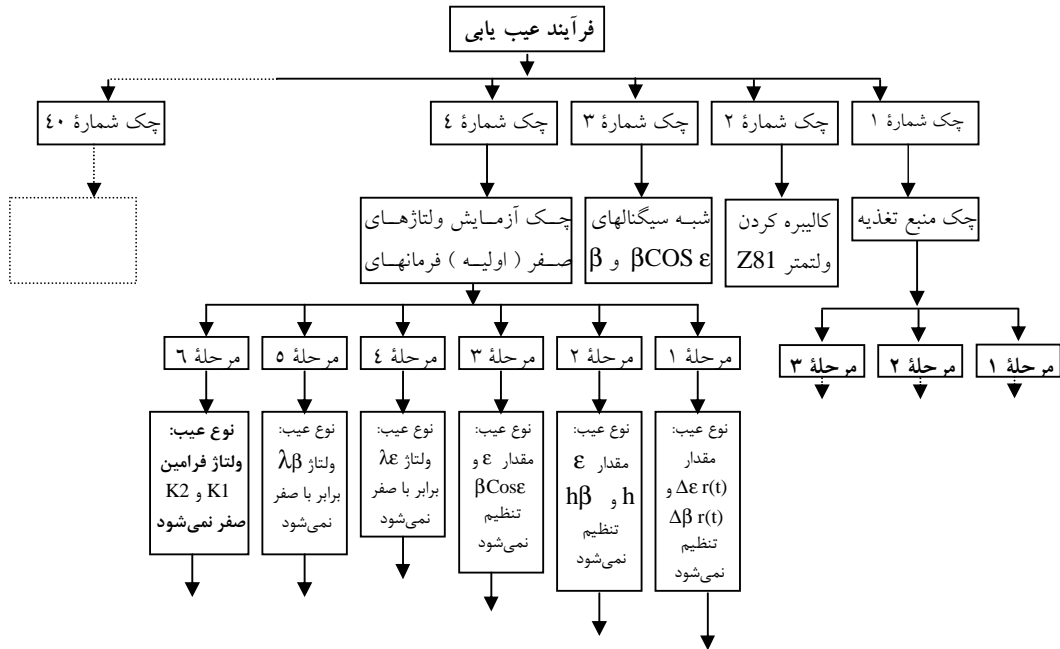
نامگذاری این فایلها از شماره چک و مرحله آن چک مشتق شده است. بعنوان مثال فایل 4-3.clp مربوط به عیب‌یابی مرحله سوم چک شماره ۴ می‌باشد. در شکل نمونه‌ای از این درخت تصمیم، جهت عیب‌یابی بلوک مربوط به مرحله اول چک شماره ۴، نشان داده شده است که قواعد مربوط به آن در فایل 1-4.clp ذخیره شده است. همانطوری که در این شکل مشاهده می‌گردد، هر شاخه درخت دارای آدرسی است که موتور استنتاج در پایگاه دانش به دنبال این آدرسها می‌گردد. این آدرسها در واقع همان شماره قواعد در پایگاه داده قواعد می‌باشند که دو عدد اول آن بترتیب شماره چک و شماره مرحله چک می‌باشد و عبارات بعدی آن همان پاسخهای کاربر می‌باشد. بعنوان مثال اگر مرحله دوم چک شماره ۳ با موفقیت انجام نشود، فایل 3-2.clp فعال شده و در صورتیکه کاربر به سوال اول پاسخ مثبت بدهد، موتور استنتاج در پایگاه قواعد بدنبال قاعده "3-2Y" می‌گردد و اگر به سوال دوم پاسخ منفی بدهد، بدنبال قاعده "3-2YN" می‌گردد و به همین ترتیب ادامه می‌یابد. با توجه به اینکه در سیستمهای خبره، موتور استنتاج از پایگاه دانش جداست، این امر باعث می‌شود که توسعه سیستم خبره و اشکالزدایی آن براحتی انجام گیرد به اینصورت که با جایگزینی قواعد دیگر در آدرسهای مربوطه، می‌توان سیستم خبره را توسعه و تصحیح نمود.

با استفاده از قواعد موتور استنتاج، wxCLIPS می‌تواند قواعد موجود در پایگاه دانش را ردیابی نموده و اجرا نماید. همانطوریکه قبلاً ذکر شد، wxCLIPS دارای موتور استنتاج با زنجیره پیشرو می‌باشد. اما چون در مسایل تشخیص از زنجیره پیشرو استفاده می‌شود بنابراین این امکان در wxCLIPS وجود دارد که زنجیره پیشرو را با استفاده از قواعد زنجیره پیشرو شبیه سازی شود. در این بخش نشان داده می‌شود که چگونه یک سیستم زنجیره پیشرو ساده در wxCLIPS با محدودیتها و توانایی‌های ذیل ساخته می‌شود.

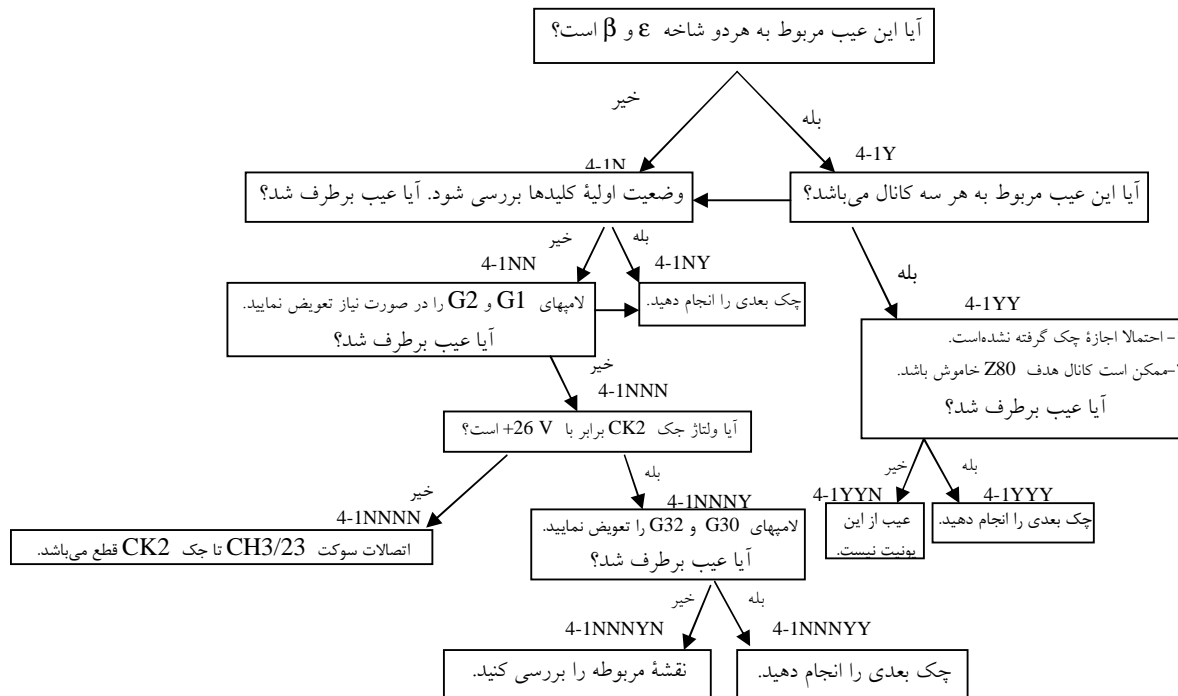
۵-۳- موتور استنتاج زنجیره پیشرو

موتور استنتاج زنجیره پیشرو با دو مجموعه از قواعد اجرا می‌شود. اولین گروه، هدفها را برای ویژگیها ایجاد می‌کنند و در صورتیکه نتواند بوسیله قواعد موجود در پایگاه قواعد ارزش ویژگیها را تعیین کند، از کاربر برای تعیین آنها سوال می‌کند. دومین گروه از قواعد، عملکردها را به روز درمی‌آورد که عبارتند از: اصلاح قواعدی که شرایط آنها برقرار شده است و انتقال

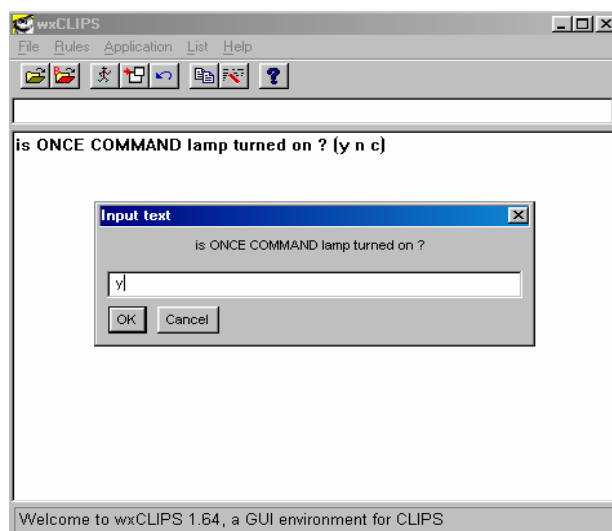
هدفیابی که ارضاء شده‌اند. همانطوریکه شکل ۷ نشان می‌دهد، سوالی که از کاربر پرسیده می‌شود در پنجره ورودی نوشته شده است و منتظر دریافت پاسخ از کاربر می‌باشد و کاربر باید پاسخ خود تایپ نموده، کلید Ok یا Enter را فشار دهد.



شکل ۵: نمونه‌ای از درخت تصمیم



شکل ۶: نمونه‌ای از درخت تصمیم



شکل ۷: نمایی از اجرای برنامه wxCLIPS

۶- حافظه کاری

یک پایگاه داده کلی متشکل از وقایع یا حقایقی که توسط قواعد بکار گرفته می‌شوند. از این حافظه برای ذخیره موقت دانش و داده‌هایی که به طرق مختلف در خلال حل مسأله در اختیار سیستم خبره قرار می‌گیرد، استفاده می‌شود. این داده‌ها عبارتند از: پاسخ کاربر به پرسش‌های سیستم، واقعیات همواره درست، اطلاعات کسب‌شده از بانک‌های اطلاعاتی، حقایق استنتاج‌شده در پروسه استدلال و غیره. ظرفیت این حافظه بسیار کوچک است و به آن حافظه کوتاه مدت^۱ نیز می‌گویند. حافظه کوتاه مدت، نشانگر تعداد اجزایی است که بطور همزمان فعال می‌شوند.

۷- واسط کاربر

موفقیت یک سیستم خبره اغلب به چگونگی کیفیت واسط کاربر بستگی دارد. واسط کاربر سیستم خبره به منظور استفاده کاربر از سیستم، طراحی شده است. برای برقراری ارتباط بین کاربر و سیستم خبره، وسایل ورودی و خروجی بسیاری وجود دارد که در این سیستم خبره این وسایل عبارتند از: صفحه کلید و تاج اسکرین^۲، پرینتر و مانیتور. یک سیستم خبره به روشهای زیر با کاربر ارتباط برقرار می‌کند:

۱- کاربر به یک پرسش با تایپ جواب توسط صفحه کلید پاسخ می‌دهد. جوابهای کاربر به صورت Yes یا No در پوسته wxCLIPS می‌باشد.

۱- کاربر از میان چندین موردی که بر روی صفحه نمایش است، یکی را انتخاب کند. برای انتخاب چکها و پاسخ به انجام چکها و ارتباط با پایگاه دانش از این سیستم واسط استفاده شده است.

۳- رابط تصویری (آیکون)، جهت ارتباط با پایگاه داده جانمایی قطعات، پایگاه داده نقشه‌های شماتیک، مسیرهای خروجی، ارتباط با اسیلوسکوپ و ... از این نوع واسط استفاده شده است. با توجه به محیط گرافیکی قوی که ویژوال بیسیک در اختیار ما قرار می‌دهد، رابط کاربر این سیستم خبره به زبان ویژوال بیسیک نوشته شده است.

1.Short-Term memory

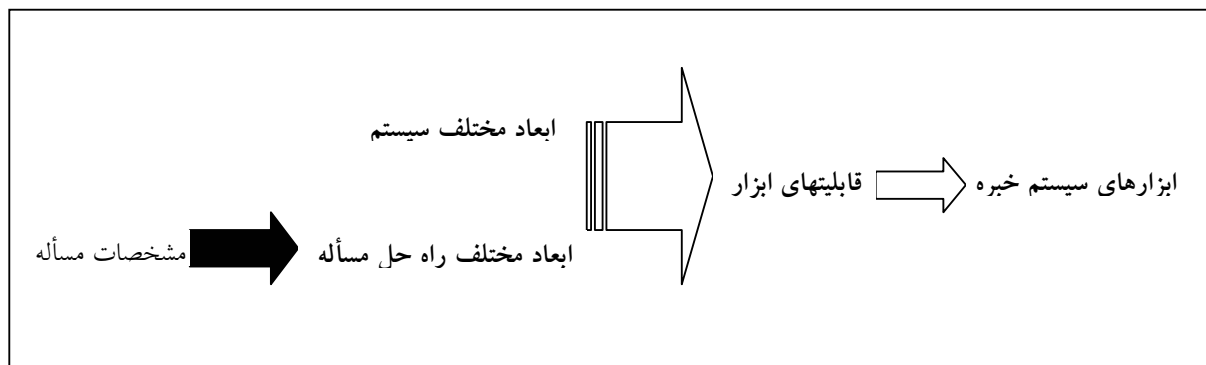
تاج اسکرین یک صفحه حساس به لمس می‌باشد که بر روی مانیتور قرار گرفته و می‌توان بجای ماوس از آن استفاده نمود.

۸- امکانات تشریح

با توجه به اینکه یکی از اهداف این سیستم، آموزش کاربران و تعمیرکاران کم تجربه می‌باشد، بنابراین وجود امکانات تشریح در این سیستم خبره ضروریست. امکانات تشریح در متقاعد ساختن کاربران در تأیید قابلیت‌های این سیستم خبره بسیار مؤثر است. این توضیحات بوسیلهٔ ردیابی قواعد انجام می‌گیرد و کاربر می‌تواند کلیهٔ قواعدی که فعال شده‌اند را مشاهده نماید.

۹- انتخاب ابزار ساخت سیستم خبره

برای انتخاب یک ابزار ساخت و توسعهٔ سیستم خبره، باید اصول و معیارهایی را در نظر گرفت. شکل ۸ اصول و مراحل را که برای انتخاب یک ابزار در نظر گرفته شده است نشان می‌دهد.



شکل ۸: اصول انتخاب یک ابزار سیستم خبره

مشخصات مسأله: با توجه به پیچیدگی و گستردگی مدارهای الکتریکی در سایت موشک، تعمیر و عیب‌یابی آن کاری بسیار مشکل است. بنابراین در این سیستم خبره فضای مسئله بسیار بزرگ می‌باشد. از طرفی بنا به فرض، اپراتور بر سیستم موشکی تسلط کامل دارد و هرآنچه که سیستم خبره بخواهد، از قبیل انجام چکها، اندازه‌گیری ولتاژ و شکل موج سیگنالها و... را بطور کامل و صحیح انجام می‌دهد و پاسخهای صحیح و قطعی را به سیستم خبره انتقال می‌دهد. همچنین با توجه به نوع عیب، فضای جستجو می‌تواند هم در عرض و هم در عمق گسترده باشد. امکان استفاده از حروف فارسی، انگلیسی و لاتین مثل ϵ و β و γ بطور همزمان در این سیستم خبره باید مهیا باشد. با توجه به وجود محیط گرافیکی، این سیستم خبره بصورتی است که ارتباط بین کاربر و سیستم خبره براحتی انجام می‌شود.

همچنین با توجه به اینکه ساخت یک سیستم خبرهٔ تشخیص خطای بلادرنگ، یکی از اهداف استراتژیک این پروژه می‌باشد، برای تحقق این امر باید ابزاری انتخاب شود که بتواند براحتی با سخت افزار ارتباط برقرار کند تا بطور خودکار بتواند سیستم موشکی را تست و عیب‌یابی نماید.

ابعاد مختلف راه حل مسئله: در این پروژه فضای حل مسئله بزرگ و غیرقابل فاکتورگیری می‌باشد بنابراین می‌توان مسئله را به چند زیرمسئلهٔ کوچکتر تقسیم کرد؛ به این صورت که هر یونیت را به بلوکهای کوچکتر تقسیم کرده و برای تست هر بلوک یک یا چند چک تعریف قواعد جداگانه‌ای بر آنها بنویسیم. به این ترتیب فضای بزرگ مسئله را کوچکتر و محدودتر می‌کنیم. برای اینکه کاربر ذهن خود را کمتر درگیر ارتباط با سیستم خبره کند باید از یک محیط گرافیکی تحت ویندوز برای رابط کاربر این سیستم خبره استفاده کنیم بطوریکه کاربر برای وارد کردن اطلاعات و دادن پاسخ به سیستم خبره و برقراری ارتباط با پایگاه داده، بجای تایپ کردن دستورات، از گزینه‌ها، لیستها، منوها، دکمه‌ها... استفاده کند.

ابعاد مختلف سیستم مطلوب: با توجه به مشخصات و ابعاد مختلف مسئله که در بخش قبل مطرح شد، می توان از یک سیستم خبره مبتنی بر قاعده استفاده کنیم که دارای یک پایگاه دانش قوی مشتمل بر تمام قواعد، سیگنالهای ورودی و خروجی هر بلوک، دستورالعملهای چک، نقشه های شماتیک و جانمایی قطعات می باشد. یک مکانیزم استنتاج که عیب یابی و حل مسئله را انجام می دهد و یک رابط کاربر که گزارشهای لازم را به کاربر می رساند و بطور کلی با کاربر از طریق سنئوال و جواب ارتباط برقرار می کند و همچنین دارای امکانات توضیح و تفسیر و کمک برخط **Online Help** باشد. ورودی اطلاعات در این سیستم خبره بصورت انتخاب از یک منوی لیست صورت می گیرد و با توجه به اینکه این سیستم خبره در حوزه تشخیص عیب کار می کند، بنابراین بهتر است از استنتاج با زنجیره پسر و استفاده کنیم.

انتخاب ابزار سیستم خبره پیشنهادی: هر کدام از ابزارها دارای ضعفهایی است که غیر قابل اغماض می باشند و هیچ ابزاری را نمی توان یافت که از تمامی امکانات و تسهیلات برخوردار باشد. بنابراین برای ساخت سیستم خبره پیشنهادی، تصمیم گرفته شد از دو ابزار مختلف استفاده شود که هر کدام نقاط ضعف دیگری را بپوشاند. این دو ابزار عبارتند از: زبان برنامه نویسی ویژوال بیسیک و یک پوسته سیستم خبره به نام **wxCLIPS**. نرم افزار **wxCLIPS** دارای موتور استنتاج است و ویژوال بیسیک نیز دارای رابط کاربر گرافیکی خوبی می باشد. علاوه بر این دارای واسط خارجی است و استفاده از آن ساده تر از بقیه زبانهای برنامه نویسی بوده و امکان ارتباط با پایگاههای داده نیز در آن براحتی برقرار می شود. در جدول ۱ معیارهای انتخاب یک ابزار خاص برای توسعه سیستم خبره نشان داده شده است و چند نمونه از این ابزارهای توسعه، با هم مقایسه شده اند. معیارهای کلی برای ارزیابی یک پوسته خاص برای توسعه سیستم خبره عبارتند از: سهولت استفاده، توانایی تکنیکی، محیط پشتیبانی توسعه، امکانات واسط کاربر، واسط خارجی، مجوز اجرا و پشتیبانی فروشنده.

Leonardo	wxCLIPS	CLIPS	VP-Expert	PROLOG	ابزارهای توسعه معیارها
مبتنی بر متن	گرافیکی	مبتنی بر متن	مبتنی بر متن	مبتنی بر متن	نوع نمایش
زنجیره پیشرو	زنجیره پیشرو	زنجیره پیشرو	زنجیره پسر	زنجیره پسر	مکانیزم استنتاج
ضعیف	متوسط	ضعیف	ضعیف	ضعیف	محیط پشتیبانی توسعه
ضعیف	قوی	ضعیف	ضعیف	ضعیف	واسط خارجی
مبتنی بر قاب و شیءگرایی	مبتنی بر قاعده، قاب، شیءگرا و ...	مبتنی بر قاعده، قاب، شیءگرا و ...	مبتنی بر قاعده	مبتنی بر قاعده	توانایی تکنیکی
ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	توانایی ارتباط با سخت افزار
مشکل	بسیار مشکل	مشکل	مشکل	مشکل	سهولت استفاده
ضعیف	قوی	ضعیف	ضعیف	ضعیف	امکانات رابط کاربر

جدول ۱: مقایسه ابزارهای مختلف

۱۰- نتیجه گیری

حاصل این تلاش، یک سیستم خبره قانونمند است که با تشخیص علل خطای ایجادی در واحد محاسبه مختصات موشک و هدف، عملیات اصلاحی لازم را برای راهنمایی اپراتورها تا رفع عیب کامل از این واحد، صادر می کند. جهت راحتی کار با این سیستم خبره، یک رابط کاربر گرافیکی با استفاده از زبان برنامه نویسی ویژوال بیسیک طراحی شد.

وجود بانک اطلاعاتی جانمایی قطعات، علاوه بر کاهش خطرات ناشی از برق گرفتگی، باعث افزایش سرعت عیب‌یابی نیز می‌شود. پایگاه داده عیوب، علاوه بر اینکه باعث افزایش سرعت در امر عیب‌یابی می‌شود، بعنوان شناسنامه سیستم نیز عمل می‌کند. با وارد کردن عیب‌هایی که به مرور زمان رخ می‌دهند، این پایگاه داده را می‌توان روز به روز توسعه داد. این تحقیق به صورتهای زیر می‌تواند توسعه یابد:

(۱) تبدیل به فاز on-line و اجرای همزمان با عملکرد سیستم موشکی. برای این کار باید یک واسط سخت افزاری طراحی نمود که کلیه اطلاعات سایت موشک شامل شکل موجها و ولتاژهای خروجی هر بلوک را به سیستم خبره منتقل نماید. سیستم خبره نیز با دریافت این اطلاعات و مقایسه با اطلاعات موجود در پایگاه دانش خود می‌تواند عیب را تشخیص دهد.

(۲) طراحی سیستم خبره خودکار. بطوریکه بتوان کلیه اعمالی که در حال حاضر این سیستم خبره از کاربر درخواست انجام آن را می‌دهد، سیستم خبره بتواند خودش انجام دهد و نتیجه‌گیری نماید. برای انجام این کار باید یک واسط سخت افزاری طراحی شود بطوریکه فرمانها را از سیستم خبره دریافت کرده و به سایت منتقل نماید و همچنین پاسخ این فرمانها را از سایت دریافت و به سیستم خبره اطلاع دهد.

(۳) در صورتیکه احاطه کاملی بر اطلاعات سایت موشکی حاصل شود، امکان ایجاد توابع عضویت فازی برای مدل سازی قواعد فراهم می‌شود که طبیعتاً نتایج حاصله به واقعیت نزدیکتر خواهند بود.

(۴) ایجاد امکان توسعه سیستم با استفاده از واسط کاربر مناسبتر. برای نیل به این مقصود، نخستین اقدام، نوشتن یک فایل ویرایشگر و دومین اقدام، تدبیر مناسب جهت مشابه سازی انواع قواعد ممکن مورد استفاده در مرحله استنتاج می‌باشد.

(۵) اضافه نمودن سیستم یادگیری مثل شبکه‌های عصبی، تا سیستم خبره پایگاه دانش خود را به مرور زمان توسعه دهد.

(۶) ساخت سیستم خبره برای تعمیر کل سایت موشکی. که برای تحقیق آن باید برای تمام قسمتها و واحدهای مختلف سایت موشک از قبیل واحد منبع تغذیه، رادار، فرستنده و سکوی پرتاب، سیستمهای خبره مجزا طراحی نمود و سپس با اضافه نمودن تعدادی فرا قاعده و ترکیب سیستمهای فوق می‌توان اقدام به طراحی چنین سیستمی نمود.

منابع

- [1] Giarratano, J. & Riley, G. "Expert Systems principles and programming". ed. Prentice-H (USA: University of N.S.W, 1994). Second edition
- [2] Jackson, P. "Introduction to Expert Systems"
- [3] Darlington, K. "The Essence of Expert Systems"
- [4] "The handbook of applied Expert Systems". pp.(2_1)-(2_10)
- [] " . ; () ."
- [6] Fukui, C & Kawakami, J, "An Expert System for fault section estimation using information from protective relays and circuit breakers". IEEE Trans.on Power Delivery, vol.oct.1998, pp.83-90
- [7] Girgis, A.A & M.B.Jones, "a Hybrid Expert System for faulted section location algorithms", IEEE Trans.on Power Delivery, vol.4, NO.2, Apr.1989, pp.978-985
- [8] Monsef, H, A.M.Ranjbar, S.Jadid. "A Rule-Based Expert System for power system fault diagnosis", Proc.9th International power system conference, St.Petersburg, pp.375-365. July 1994,
- [9] Okamoto, H & A.Sekine. "A real-time Expert System for fault section estimation using cause-effect network", Proc.of 10th pssc, pp.905-912, aug.1990,
- [10] Komai, Matsumoto, K & Sakaguchi, T. "A diagnosis application-Specific Expert System shell for network fault diagnosis", Proc.3th symp.on Expert systems Application to power system, Tokyo. Kobe, pp.202-208. Apr.1991,
- [11] Yu Qian*, Xiuxi Li, Yanrong Jiang, Yanqin Wen, "An expert system for real-time fault diagnosis of complex chemical processes", School of Chemical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, People's Republic of China, Expert Systems with Applications 24
- [] " . ; () ."