

# Tratamento Inteligente de Alarmes “on line” de S/Es e Centros de Controle – SMART ALARMS

Antônio Sérgio de Araújo

Maria do Socorro Melo Cavalcante

Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF - Recife –PE

Jacques P. Sauv e - Marcus C. Sampaio - Jorge C esar A. Figueiredo - Eloi Rocha Neto - Walfredo Cirne -

Alexandre N. Duarte - Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

**Resumo** - Apresenta-se uma nova ferramenta computacional para o diagnóstico automático de falhas em redes elétricas que utiliza uma técnica híbrida de correla o de eventos. A técnica combina os raciocínios, baseado em modelos com o baseado em regras para eliminar as deficiências decorrentes de atualiza es topológicas deste último. A especifica o e a estratégia de desenvolvimento são apresentadas, incluindo a sua integra o ao sistema de supervisão e controle da Chesf em sua fase de opera o experimental no Centro Regional de Opera o de Sistema Leste - Chesf.

**Palavras-chave** - Sistemas de Potência; Sistemas Inteligentes; Correla o de eventos; Raciocínio baseado em regras; Raciocínio baseado em modelos.

## I. INTRODU O

Na Opera o de Sistema em tempo real, os Operadores de Sistema dos Centros de Opera o que supervisionam e controlam o Sistema Elétrico de Potência da Chesf têm a complexa tarefa de gerenciar grandes áreas eletrogeogr ficas. Através de seus monitores eles dispõem de um elevado número de alarmes que são na verdade uma exposi o da grande quantidade de dados que descrevem o comportamento da rede elétrica, e que possibilitam o diagnóstico e a localiza o de condi es de anormalidade no sistema. Em contingências esse volume de alarmes se eleva bastante, temos registro de situa es críticas em que os operadores receberam mais de 1500 eventos em um único segundo, desta forma trazendo dificuldades para diagnóstico do estado operativo do sistema de potência e a conseqüente tomada de decisões para a es corretivas a serem executadas.

Uma forma de diminuir a quantidade de informa o que os operadores precisam interpretar e, conseqüentemente, diminuir o seu tempo de resposta   associar os eventos as suas causas raiz.

A CHESF (Companhia Hidro Elétrica do São Francisco) e a UFCG (Universidade Federal de Campina Grande) firmaram uma parceria para desenvolver o projeto “Smart

Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF, Av. Gal San Martin, 1450 – Anexo 6, Bl. B, Sala 202 – CEP 50761-901 – Recife – PE - BRASIL  
Fone: (0xx81) 3229-4806 – e-mail: [asergio@chesf.gov.br](mailto:asergio@chesf.gov.br)

*Alarms*: Tratamento Inteligente de Alarmes On-line de Subesta es e Centros de Controle”. O projeto *Smart Alarms* visa ao desenvolvimento e   integra o com o SAGE (Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia - sistema de supervisão utilizado nos Centros de Opera o de Sistema da CHESF) de uma ferramenta automática de diagnóstico de falhas em rede elétricas.

A concep o do *Smart Alarms* objetivando tratar a questão delineada acima, envolveu fundamentalmente a experiência da equipe da Chesf na forma o da base de conhecimento para concep o desse sistema e da UFCG na filosofia do programa que se baseia em técnicas de sistemas inteligentes e utiliza regras de inferência para a tomada de decisão.   apresentado neste artigo o desenvolvimento da ferramenta e os resultados da aplica o prática são includos.

## II. ESTUDO DO PROBLEMA DE FALTAS

Tratamento de eventos em redes elétricas aplicados em centros de opera o de sistema vem ganhando maior ênfase e impuls o em fun o de se apresentarem como sistemas especialistas para auxiliar a opera o em tempo real.

Encontra-se na literatura atual um maior número de trabalhos utilizando-se regras por inferências. Verifica-se que esta técnica tem sido aplicada mais especificamente a sistemas elétricos, devido   facilidade com que ela trata grandes volumes de informa o e, sobretudo após a proposta vista em (8) onde o autor descreve uma defini o utilizando regras de inferência para decidir “o que” apresentar ao operador de sistema e “como” esta informa o deve ser mostrada podendo-se ter três objetivos principais:

- 1- Reduzir a quantidade de alarmes a ser apresentada ao operador;
- 2- Transmitir de uma maneira clara a ocorrência;
- 3- Se necessário sugerir uma a o corretiva ao operador.

O raciocínio envolvido no diagnóstico de falhas em sistemas de potência   eminentemente simbólico, o que viabiliza a sua automatiza o através de software. Esse

fato levantou a possibilidade de se utilizarem aplicações baseadas em conhecimento para o processamento automático de eventos, permitindo associar uma série de eventos correlatos com uma única causa raiz (2).

Várias empresas e grupos de pesquisa têm pesquisado e desenvolvido técnicas e aplicações para o diagnóstico de falhas em diversos tipos de redes como redes de computadores, redes elétricas e redes de telecomunicações [1], (3). Aparentemente eles não têm considerado a possibilidade de aplicar uma técnica ou aplicação desenvolvida para um tipo de rede nos demais tipos. Mais precisamente, a maioria das técnicas de diagnóstico e correlação de eventos utilizadas em redes de computadores e redes de telecomunicações não têm sido aplicadas no diagnóstico de falhas em redes elétricas, apesar de não existir nenhum impedimento teórico para isso. Talvez por esse fato exista um razoável número de aplicações comerciais para diagnóstico de falhas em redes de computadores e redes de telecomunicações (5), e um número bastante reduzido de aplicações em redes elétricas (6), (3) CRONK, R.; CALLAHAN, P.; BERNSTEIN, L. Rule-based expert systems for network management and operations: an introduction. IEEE Network, v. 2, n. 5, p. 7-21, 1988.

(4).

No setor elétrico brasileiro poucos trabalhos falam sobre este tema. Encontramos dois aplicativos bem sucedidos em operação utilizando o modelo de regras de inferência, um no centro de controle de Portugal, que supervisiona toda a rede elétrica do país e outro utilizado nos nove centros de operação da Hydro-Québec no Canadá (9).

Verifica-se que para a integração ao sistema de supervisão e controle de uma ferramenta neste nível que venha a atender as necessidades da operação em tempo real, necessita-se de uma equipe que detenha conhecimento teórico sobre o assunto, domínio de técnicas de inteligência computacional, interface homem-máquina, interface com outros aplicativos, elaboração de estratégia de desenvolvimento desta ferramenta de forma bastante detalhada.

### III. DESENVOLVIMENTO

Nesta fase inicial de desenvolvimento do *Smart Alarms* o objetivo consiste em apresentar para o operador de sistema os eventos ocorridos no sistema elétrico de potência tendo o máximo possível de informações de forma clara e objetiva com o compromisso de não sobrecarregar o operador com excesso de mensagens.

#### A. Sistemas Especialistas

São parte de uma corrente de pesquisa denominada inteligência computacional

(10), cujo objetivo é simular a atuação de um especialista em sua área de conhecimento, emulando o mecanismo de raciocínio humano. Ele é basicamente constituído de: Uma base de conhecimento e uma máquina de inferência. O conhecimento sobre um determinado assunto é

armazenado na base de conhecimento, que é formada por uma base de fatos e uma base de regras. Na base de fatos representa-se o conhecimento que o sistema possui do estado atual das variáveis envolvidas no problema a ser resolvido. Na base de regras representa-se o conhecimento que o especialista possui sobre o problema.

A máquina de Inferência é responsável por avaliar, encadear e determinar quando e como este conhecimento deve ser utilizado, ou seja, faz com que a base de regras atue sobre a base de fatos para achar a solução do problema.

A aplicação de sistemas especialistas em diagnósticos de faltas tem sua fase mais crítica de desenvolvimento quando da determinação de regras para a formação da base de conhecimento, e um fator crucial para o sucesso de um sistema de correlação de eventos é a escolha de uma técnica que seja adequada ao ambiente no qual o sistema vai realizar seus diagnósticos.

Nesta seção, apresenta-se uma técnica híbrida de correlação de eventos que une o raciocínio baseado em regras com o raciocínio baseado em modelos e que facilita muito a construção da base de conhecimento, além de praticamente eliminar a necessidade de atualização devido a mudanças na topologia da rede. A técnica híbrida consegue reduzir o número de regras necessárias para modelar os problemas na rede elétrica ao permitir que uma mesma regra possa ser reutilizada por vários equipamentos. Com isso foi possível diminuir o número de regras necessárias para modelar todos os problemas da rede elétrica da CHESF, já que as regras criadas para um centro de operação podem ser utilizadas para os demais centros. A maior vantagem da técnica híbrida, no entanto, é evitar que seja necessário alterar a base de regras devido a alterações na topologia da rede. Com isso, o esforço para manter a base de regras atualizada é mínimo, consistindo apenas na inserção de novas regras nas ocasiões em que novos tipos de problemas são detectados na rede.

#### B. Primitivas Topológicas

Primitivas topológicas são construções conceituais que permitem retirar das regras de correlação de eventos todas as referências a elementos da topologia da rede elétrica. Com primitivas topológicas, é possível isolar, no diagnóstico de um problema, as informações referentes à topologia associada ao equipamento em questão; dessa forma, a regra não precisa ser alterada caso haja alguma modificação na topologia da rede.

As primitivas topológicas são baseadas na análise da conectividade de um grafo que representa todas as conexões entre os diferentes equipamentos presentes na rede elétrica. Este grafo é a contribuição do raciocínio baseado em modelos para a técnica híbrida. Além de modelar as conexões entre os equipamentos da rede, o grafo mantém também o estado de cada equipamento através do processamento dos eventos recebidos pelo sistema de diagnóstico.

Apenas com a inserção de primitivas topológicas não é possível reutilizar uma regra previamente escrita para outros equipamentos do mesmo tipo. Para que as regras possam ser reutilizadas, elas precisam ser parametrizadas.

### C. Regras Genéricas

Regras genéricas são as que, uma vez escritas para um determinado equipamento, podem ser reutilizadas para todos os equipamentos do mesmo tipo. Para tornar uma regra genérica, ela precisa ser parametrizada para remover todas as referências aos componentes específicos relacionados com o equipamento no qual está sendo realizado o diagnóstico. A parametrização da regra se dá através da criação de parâmetros topológicos que correspondem a cada um dos componentes do equipamento no qual está sendo realizado o diagnóstico.

Dessa forma, um equipamento ou linha pode ser representado inequivocamente por seus parâmetros topológicos permitindo a remoção de qualquer referência a componentes específicos.

Vejam o seguinte exemplo: Ao invés de escrever uma regra para cada problema de uma linha de transmissão, foi escrita uma regra para cada tipo de problema de linhas de transmissão.

Desta forma novas linhas de transmissão podem ser adicionadas à topologia da rede elétrica, sem que haja necessidade de efetuar qualquer tipo de alteração na base de regras.

## IV. ESPECIFICAÇÃO DO SMART ALARMS

As decisões do *Smart Alarms* são baseadas nas regras de transmissão, transformação, barramentos, equipamentos de regulação, geração e black-out e na avaliação das condições do sistema elétrico, através da aquisição em tempo real, do fluxo de eventos, de grandezas digitais e analógicas oriundas do sistema de supervisão e controle do centro de operação de sistema.

O início do processo se dá quando há uma ocorrência no sistema elétrico, onde o *Smart Alarms* busca traduzir toda a informação útil de forma que possa agregar ao operador de sistema maior rapidez em seu entendimento e consequentemente maior agilidade de suas ações sobre o sistema elétrico.

A concordância a ser seguida segue as seguintes situações:

- Desenergizada – Quando a ação for manual proveniente de telecomando ou local na instalação.
- Desarme – Quando a ação for proveniente dos dispositivos de proteção.

Todas estas informações são repassadas ao operador de sistema de acordo com a ocorrência em apenas uma mensagem de acordo com a regra acionada, sem que ele seja invadido por uma avalanche de alarmes.

### A. Arquitetura

A arquitetura interna do *Smart Alarms* foi concebida para ser o mais flexível possível no tocante à inserção de novas funcionalidades no sistema. Desta forma foi utilizada uma abordagem baseada em componentes. Figura 1 ilustra a arquitetura do *Smart Alarms*. Nela é possível observar o fluxo de informações dentro do sistema. O *Gateway* é o responsável por toda a comunicação entre o sistema de diagnóstico e o Sistema Supervisório evitando que o *Smart Alarms* interfira no escalonamento de tempo real do Sistema Supervisório e que uma possível falha no sistema se propague.

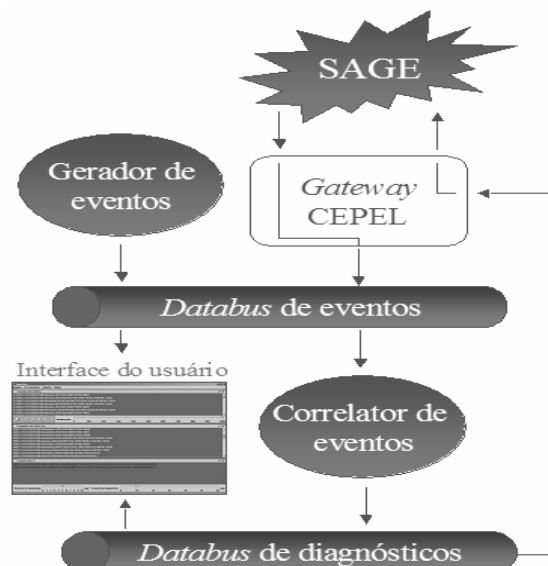


Figura 1: Arquitetura do *Smart Alarms*

O correlator de eventos é o núcleo do *Smart Alarms* e é o responsável pelo diagnóstico propriamente dito. É no correlator de eventos que é implementada a técnica híbrida de correlação descrita na seção 3.

O databus de eventos e o databus de alarmes são os responsáveis por prover flexibilidade à arquitetura do sistema. Eles servem para isolar os produtores de dados dos consumidores de dados. Na arquitetura, o *gateway* não se comunica com o correlator de eventos para fornecer os eventos recebidos pelo Sistema Supervisório, e sim, com o databus de eventos; da mesma forma, o correlator de eventos não se comunica com o *gateway* para inserir novos alarmes no Sistema Supervisório, ele se comunica com o databus de alarmes que, por sua vez, fornece os novos alarmes para o *gateway* que os insere no Sistema Supervisório.

O gerador de eventos é o responsável por simular a comunicação com o SAGE através da reprodução de seqüências de eventos armazenadas em um banco de dados. Com o gerador de eventos, é possível repetir falhas anteriores detectadas na rede elétrica para realizar testes exaustivos no sistema de diagnóstico. Além disso, é possível ajustar a velocidade da geração dos eventos para simular, por exemplo, um dia inteiro de monitoração da rede em poucos segundos. Para exibir os alarmes diagnosticados, foi criado também um módulo de interface do usuário. A interface deve exibir a seqüência

de eventos recebida pelo correlator e os alarmes diagnosticados. Com esses dois componentes, o *Smart Alarms* passa a ser também uma poderosa ferramenta de simulação ao permitir que sejam repetidas situações de falhas ocorridas no sistema elétrico de potência.

### B. Correlator de Eventos

O correlator de eventos é o coração do *Smart Alarms*. Ele é o responsável por diagnosticar os problemas da rede elétrica baseado nos eventos recebidos. A Figura 2 apresenta um esboço da arquitetura do módulo de correlação de eventos.

No módulo de correlação de eventos, existem dois componentes que não foram discutidos anteriormente: o modelo topológico e a base de regras.

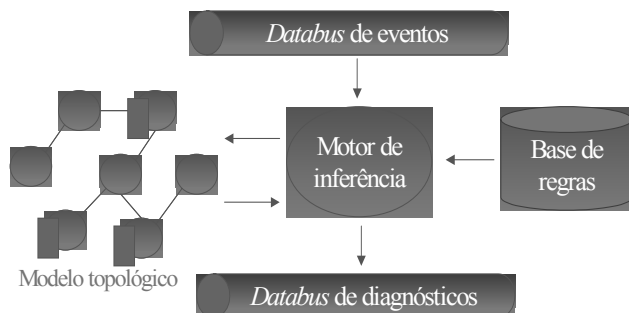


Figura 2: Módulo de correlação de eventos

O modelo topológico é o responsável por manter o estado da rede elétrica. O *Smart Alarms* utiliza o modelo topológico para estabelecer relações de conectividade entre os diversos equipamentos da rede. Além disso, ele armazena as mudanças de estado de cada um dos equipamentos da rede, representadas pela ocorrência de eventos.

A base de regras é o repositório de regras genéricas para diagnosticar as possíveis falhas na rede elétrica. O correlator de eventos combina a regras contidas na base de regras com o conhecimento topológico armazenado no modelo topológico para realizar o diagnóstico dos alarmes.

### C. RobustSmart

Esta função tem a propriedade de produzir diagnósticos confiáveis – não infensos a ruídos – de situações anormais da rede elétrica da CHESF, a partir de janelas de eventos/alarmes do sistema SAGE. Sua arquitetura compreende dois grandes módulos: *Filtro de Ruídos* e *Diagnosticador*. Conforme mostra a Figura 3

### D. Filtro de Ruídos

É responsável por fazer uma análise dos eventos/alarmes recuperados do SAGE com o intuito de detectar e, se possível, corrigir os ruídos. Devido à insuficiência de informações sobre o funcionamento da proteção do sistema elétrico, certas correções não podem ser feitas com 100% de certeza. Desta forma, o filtro

primeiramente detecta os possíveis ruídos, e, logo em seguida, corrigi-os com um determinado grau de certeza.

A detecção de ruídos da janela de eventos/alarmes corrente é feita com o auxílio de um modelo da rede, de heurísticas sobre fatos da rede e de regras de consistência entre estados dos elementos da rede.

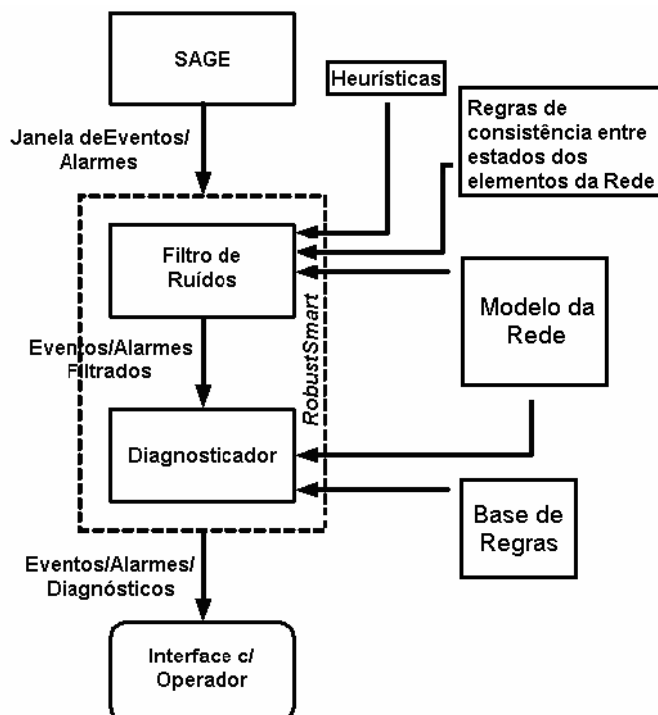


Figura 3 Arquitetura do RobustAlarms

### E. Diagnosticador

A tarefa deste módulo é analisar o modelo da rede filtrado com o intuito de efetuar diagnósticos de falhas. Se o estado do modelo passado pelo filtro for consistente com 100% de certeza, então o módulo funciona como o *SmartOne*, ou seja, é feito o casamento dos eventos com as condições de uma das regras da base de regras. Se porém o grau de certeza não for 100%, abre-se a possibilidade de casamento com mais de uma regra da base de regras, a regra escolhida sendo a de maior probabilidade, ou peso.

## V. IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

Testar software é uma atividade que deve ser realizada a custo baixo, para que seja executada com frequência e, portanto, deve ser automatizada. Para a implementação de testes automáticos, empregou-se o *framework* JUnit (7), que auxilia na construção e execução de testes de unidade para código escrito em Java. O JUnit define como estruturar os testes e provê as ferramentas para executá-los. Além das classes definidas no projeto, foram implementadas outras classes para testar as classes construídas. Depois de efetuados os testes, passa-se a ter uma maior confiança no código implementado e, quando é necessário realizar alguma modificação em uma classe que já funciona, os testes

aumentam a confiança de que a classe ainda está funcionando da forma desejada.

Apesar de os testes mencionados acima ajudarem a localizar possíveis erros no software, eles não garantem o mais importante: que o resultado do processamento esteja de acordo com o esperado, no caso específico do *Smart Alarms*, se o diagnóstico está correto. Para isso, são necessários testes adicionais, chamados testes de aceitação, que testam o software como um todo, e não, cada classe individualmente.

Para o *Smart Alarms* foram desenvolvidos 51 testes de aceitação, um para cada regra de diagnóstico, os quais foram criados em conjunto com os especialistas da CHESF e são formados por uma seqüência de eventos e por uma seqüência de diagnósticos.

## VI. APLICAÇÃO PRÁTICA

Foi realizada a fase de aplicação prática chamada de pré-fase de operação experimental, com o objetivo principal de termos uma significativa contribuição dos operadores de sistema na elaboração de especificações técnicas e interfaces para o usuário. Hoje já em fase de operação no Centro Regional de Operação de Sistema Leste – CROL em Recife, continuamos a realizar o monitoramento para se confirmar o funcionamento apropriado do produto em relação às regras, à capacidade de operação contínua, à estabilidade do consumo de memória ao desempenho computacional e assim poder se definir a efetiva elaboração e validação do aplicativo.

Até o momento o *Smart Alarms* se comportou de forma satisfatória e em situações reais de ocorrências no sistema elétrico, apresentou de forma rápida o diagnóstico sem comprometer a performance do sistema supervisorio.

A importância do *Smart Alarms* para o processo de tomada de decisão pode ser bem verificado em um caso ocorrido na rede elétrica do subsistema Leste da Chesf que provocou desarme de todas as linhas de transmissão em 500KV, desarme de outras linhas de transmissão de 230KV, desarmes de alimentadores de 69KV e black-out de outras subestações que num total geraram mais de 10.000 alarmes e eventos que foram apresentados aos operadores de sistema no sistema de controle supervisorio. Através de simulação o *Smart Alarms* resumiu a ocorrência em apenas 40 diagnósticos.

## VII. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta o desenvolvimento e aplicação do *Smart Alarms* para atuação em tempo real nos centros de operação de sistema da CHESF. Aplicativo este que é resultado de um trabalho cooperativo entre a CHESF e a UFCG, desenvolvido de forma a apresentar as ocorrências do sistema elétrico de potência de maneira sucinta e evidente, eliminando o número excessivo de alarmes apresentados ao operador de sistema com o propósito de aumentar a eficácia e eficiência destes no processo de tomada de decisões para restabelecimento quando de faltas, reduzindo-se o tempo de interrupções e atendimento aos clientes.

Os objetivos principais do desenvolvimento do *Smart alarms* foram permitir a verificação da aplicabilidade de técnicas de correlação de eventos ao diagnóstico de falhas em redes elétricas e permitir validar o conhecimento extraído dos especialistas da CHESF sob a forma de regras de diagnóstico. Com esta ferramenta, foi possível testar a aplicabilidade da técnica híbrida de correlação de eventos ao diagnóstico de falhas em redes elétricas e validar o conhecimento contido nas regras para o diagnóstico de problemas no sistema elétrico de potência.

Os resultados finais do trabalho são uma técnica híbrida de correlação de eventos bastante eficiente para o diagnóstico de falhas em redes elétricas e uma base de regras para diagnósticos.

Ressalta-se que a concepção do Smart Alarms o torna prático e amoldável para ser aplicado em diferentes sistemas elétricos. Assim o que estamos propondo através desta ferramenta vem a estabelecer na área de operação de sistema um tremendo avanço no setor elétrico nacional.

## VIII. BIBLIOGRAFIA

- [1] AZEVEDO, G. P.; Aplicações de Técnicas de Inteligência Artificial à Operação em Tempo Real de Sistemas de Potência. II Workshop de Técnicas de I.A. Aplicadas a Sistemas de Potência e Industriais, 2001.
- (2) DABBAGHCHI, I.; CHRISTIE; LIU, C. AI Application Areas in Power Systems. IEEE Expert, v. 12, n. 1, p. 58-66, 1997.
- (3) CRONK, R.; CALLAHAN, P.; BERNSTEIN, L. Rule-based expert systems for network management and operations: an introduction. IEEE Network, v. 2, n. 5, p. 7-21, 1988.
- (4) LABORIE, P; J. P. KRIVINE. GEMO: A model-based approach for an alarm processing function in power distribution system networks. International conference on Intelligent System Application to Power Systems (ISAP'97), p. 135-141, Seul, Coréia do Sul.
- (5) LEWIS, L. Event Correlation in SPECTRUM and Other Commercial Products. Technical Report ctron-Imp-99-05, Cabletron: 1999.
- (6) VALE, Z.; MOURA, A.; FERNANDES, M.; MARQUES, A; ROSADO, C.; RAMOS, C. SPARSE: An Intelligent Alarm Processor and Operator Assistant. IEEE Expert 12(3): p. 86-93, 1997.
- (7) GAMMA, E.; BECK, K. Junit: A cook's tour. Java Report, 4(5):27--38, May 1999.
- (8) D.S. KIRSCHEN AND B.F. WOLLENBERG, INTELLIGENT ALARM PROCESSING IN POWER SYSTEMS. VOL.80, PP 663-672, MAY 1992.
- (9) j.p. bernard; d. durocher, LANGAGE: AN EXPERT SYSTEM FOR DIAGNOSIS IN A REAL-TIME CONTEXT. PAPER - MARCH 1-5, 1993.
- (10) RICH, ELAINE: "Artificial Intelligence", McGraw Hill Ed. Cingapura, 1988.