



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0811520-6 B1



(22) Data do Depósito: 11/12/2008

(45) Data de Concessão: 29/01/2019

(54) Título: MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DE HIDROFOBICIDADE EM SUPERFÍCIES E MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO ENVELHECIMENTO DE SUPERFÍCIES E SISTEMAS COMPREENDENDO TAIS MÉTODOS

(51) Int.Cl.: G01N 13/00.

(73) Titular(es): UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP; FUNDAÇÃO EDSON QUEIROZ - UNIVERSIDADE DE FORTALEZA - UNIFOR.

(72) Inventor(es): MARIA VIRGÍNIA GELFUSO; DANIEL THOMAZINI; RUY ALBERTO CORRÊA ALTAFIM.

(57) Resumo: MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DE HIDROFOBICIDADE EM SUPERFÍCIES E MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO ENVELHECIMENTO DE SUPERFÍCIES E SISTEMAS COMPREENDENDO TAIS MÉTODOS. A presente invenção descreve um método de determinação de hidrofobicidade em superfícies. Em especial, esse método pode ser implementado independentemente da superfície utilizada. A presente invenção adicionalmente descreve um método de avaliação do envelhecimento superficial. Esse método pode ser aplicado, por exemplo, ao setor de geração, distribuição e transmissão de energia elétrica, em especial a isoladores elétricos poliméricos.

Relatório Descritivo de Patente de Invenção

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DE HIDROFOBICIDADE EM SUPERFÍCIES E
MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO ENVELHECIMENTO DE SUPERFÍCIES E
SISTEMAS COMPREENDENDO TAIS MÉTODOS.

Campo da Invenção

[001] A presente invenção descreve um método de determinação de hidrofobicidade em superfícies. Em especial, esse método pode ser implementado independentemente da superfície utilizada. A presente invenção adicionalmente descreve um método de avaliação do envelhecimento superficial. Esse método pode ser aplicado, por exemplo, ao setor de geração, distribuição e transmissão de energia elétrica, em especial a isoladores elétricos poliméricos. A presente invenção se localiza principalmente no campo técnico da engenharia.

Antecedentes da Invenção

Isoladores elétricos

[002] Nas últimas décadas alguns pesquisadores têm dado atenção à utilização de novos materiais para serem empregados em isoladores elétricos de alta tensão. Alguns exemplos de materiais utilizados em isoladores elétricos são porcelana, borracha de silicone, poliuretana, epóxi, mica e vidro. De maneira geral, os isolantes poliméricos têm sido empregados em diversas aplicações, em função do baixo custo de fabricação e fácil moldagem.

[003] A poliuretana, resinas de epóxi e polímeros a base de silicone começaram a ser utilizados nas décadas de 60 em aplicações de média e alta tensão, devido a sua estabilidade química e alta resistência às intempéries.

[004] Em função dos polímeros apresentarem baixa energia de superfície, devido à presença de grupos metil na superfície, estes materiais naturalmente apresentam grande repulsividade à água, ou seja, são naturalmente hidrofóbicos. Esta propriedade é amplamente desejada na aplicação destes materiais como isoladores elétricos, pois impedem a formação de um caminho para a corrente elétrica, permitindo que o isolador possa ser aplicado em maiores tensões provenientes de descargas disruptivas. Entretanto apresentam a desvantagem de serem facilmente susceptíveis ao envelhecimento por UV o qual degrada sua hidrofobicidade.

Hidrofobicidade

[005] A hidrofobicidade em materiais pode ser determinada de várias formas, geralmente tendo como base o guia da STRI. Porém este guia aborda a classificação de uma forma parcialmente empírica, não sendo observado, até então, um modelamento desta propriedade.

[006] Diante da crescente demanda no consumo de energia elétrica, se faz necessário a ampliação do sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica mundial. Em função do maior número de linhas de fornecimento, a possibilidade da interrupção se torna cada vez maior, o que faz com que as companhias de energia elétrica busquem medidas para reduzir estas inconveniências. Um dos fatores que contribuem para a interrupção no fornecimento de energia elétrica é a falha no isolamento das linhas de transmissão, que pode ser causada pela diminuição da hidrofobicidade nos isoladores elétricos.

[007] A hidrofobicidade é definida como repulsão de um filme de água sobre uma superfície. Quando uma superfície hidrofóbica é molhada, a água tende a formar gotas discretas, não se espalhando pela superfície. Quando uma superfície hidrofílica é molhada, a água não é repelida por ela sendo formado um filme recobrimdo-a. No caso de um dispositivo elétrico deseja-se uma superfície hidrofóbica, para que a água não seja um caminho de baixa resistência elétrica, o que provocaria a ocorrência de descargas disruptivas.

[008] A hidrofobicidade dos polímeros confere aos isoladores maiores níveis de suportabilidade, assim podem ser produzidos dispositivos mais compactos e mais baratos, ao contrário de isolantes confeccionados com materiais hidrofílicos como vidro ou porcelana. Através do guia para classificação de hidrofobicidade (HC) da STRI pode ser observada a diferença de 30% na tensão de *flashover* (descarga elétrica sobre ou ao redor do isolador entre dois ou mais condutores adjacentes) sob chuva e 60% sob névoa limpa em isoladores de mesma geometria, diferindo apenas no material polimérico de recobrimento.

[009] Desta forma os polímeros têm sido a solução de maior interesse em isoladores elétricos de alta tensão para ambientes externos. No Japão onde importantes linhas de transmissão estão localizadas na costa, isoladores poliméricos estão sendo aplicados.

[0010] Apesar destas vantagens, os materiais poliméricos são susceptíveis ao envelhecimento causado pelas influências climáticas, ao contrário do vidro e da porcelana. Ainda que os isoladores apresentem superfície hidrofóbica, ao decorrer do tempo esta propriedade se altera parcialmente ou totalmente. Assim, os isoladores poliméricos são projetados para o pior caso. Isso mostra que as vantagens do uso de isoladores poliméricos, ao contrário dos de vidro e porcelana, ainda não estão bem explorados. Desta forma, existem alguns estudos que propõem novas técnicas para o sensoriamento remoto de isoladores quanto ao seu estado superficial.

[0011] Pode-se dizer que o envelhecimento em isoladores elétricos causa problemas operacionais em plantas que operam em altas tensões. Pelo aspecto econômico é necessário que se mantenha um sistema operando sem interrupções, pois com o crescimento do sistema elétrico, a qualidade da isolação é reduzida. No caso específico de linhas de transmissão, a severidade das condições de isolação a que são submetidas em serviço é intensificada por fatores externos como chuva, névoa, poeira, maresia, e isso pode provocar a interrupção do fornecimento de energia elétrica. O conjunto destes fatores associado à redução dos níveis de hidrofobicidade causa o aumento do risco de ocorrências de interrupção no abastecimento de energia pela ruptura do isolamento. Assim, uma técnica eficiente capaz de avaliar a hidrofobicidade nestes isoladores deve ser utilizada para investigar, ou prever, estas ocorrências.

Análise de imagem na classificação de hidrofobicidade

[0012] Alguns estudos relatam métodos de determinação da classe de hidrofobicidade utilizando análise de imagens obtidas com o molhamento de isoladores elétricos.

[0013] Os métodos mais utilizados para classificar a hidrofobicidade são baseados na análise do tamanho das gotas e do fator circular (f_c). Normalmente estes métodos são complementados por medidas das propriedades dielétricas ou energia de superfície.

[0014] Altafim e colaboradores desenvolveram uma metodologia para avaliar a HC através de medidas goniométricas. Nesta técnica, a avaliação do ângulo de contato é realizada por processamento digital de imagem utilizando transformada de Hough.

[0015] Berg e colaboradores propuseram uma metodologia para classificar a hidrofobicidade de isolantes de borracha de silicone através da análise de imagens digitais. Eles realizaram a análise das imagens através do aplicativo MatLab 5.3 com toolbox v.2.2. Nesta metodologia eles analisam os histogramas, utilizam técnica de segmentação por convolução e o desvio padrão devido às diferenças entre os níveis de cinza das imagens, entropia escalonada, fração de pequenas diferenças, entropia normalizada e média das entropias normalizadas para superfícies a 10 e 35°. Eles obtiveram os melhores resultados para a média das entropias normalizadas.

[0016] Tokoro e colaboradores utilizaram método geométrico para classificar a hidrofobicidade nos isoladores elétricos. Eles propuseram a medida do fator médio circular que usa o valor da área e da circunferência das gotas. Baseado nesta observação o autor afirma que o valor do HC pode ser determinado.

[0017] Entretanto, nenhuma técnica proposta permite a avaliação comparativa por diferentes métodos de análise da textura através do processamento digital de imagens. Neste método proposto é possível aplicar o cálculo da entropia, dimensão fractal e/ou morfologia matemática de soluções compreendendo compostos inertes e água destilada, permitindo a avaliação do envelhecimento superficial, conforme a presente invenção. O cálculo de mais que um parâmetro é importante para validar o resultado final quanto a classificação da HC.

[0018] No âmbito patentário, alguns documentos versam sobre métodos de avaliação do envelhecimento superficial e/ou determinação da hidrofobicidade.

[0019] O documento US 2007/0066078 descreve um método para produzir um substrato com diferentes hidrofobicidades/oleofilicidades na mesma superfície. A presente invenção difere desse documento por não descrever um material hidrofóbico/oleofílico, mas, sim, um método para avaliar a hidrofobicidade de superfícies.

[0020] O documento US 6,193,412 descreve um método para medir a polaridade de materiais inorgânicos compreendendo a determinação do calor de adsorção de um gás inerte na superfície do material e correlacionando essa adsorção com a concentração de grupos polares na superfície do material. A

presente invenção difere desse documento por não necessitar da determinação da adsorção de gases inertes, mas, sim, utilizar as informações relacionadas ao ângulo de molhamento de uma superfície coberta por água destilada e/ou álcool.

[0021] O documento US 2005/0045539 descreve um dispositivo de controle e método para controlar o gotejamento de líquidos, compreendendo uma estrutura compósita hidrofóbica localizada em um substrato onde a diferença de energia da superfície é gerada em resposta a uma variação da superfície, a fim de controlar o comportamento da gota. A presente invenção difere desse documento por não utilizar um substrato específico, mas, sim, uma solução específica, com água destilada e compostos inertes, como álcool, para medir a hidrofobicidade da superfície.

[0022] A classificação STRI descreve os níveis de hidrofobicidade de uma superfície fornecendo valores discretos de acordo com o estado de molhamento da superfície. A presente invenção difere desse documento pelo método de determinação de hidrofobicidade não necessitar de diferentes superfícies para estabelecer um valor de acordo com o estado de molhamento, uma vez que a solução da presente invenção apresenta diferentes graus de hidrofobicidade de acordo com a proporção água destilada, álcool, sendo independente da superfície.

[0023] Portanto, não foi encontrado nenhum documento antecipando e/ou sugerindo os objetos da presente invenção.

Sumário da Invenção

[0024] Em um aspecto, a presente invenção apresenta um método de determinação da hidrofobicidade de superfícies melhorado, no qual é utilizada uma solução em diferentes concentrações para simular a hidrofobicidade de superfícies, não sendo necessário utilizar diversas superfícies para a determinação da hidrofobicidade.

[0025] É, portanto, um objeto da presente invenção um método de determinação da hidrofobicidade de superfícies compreendendo as etapas de:

a) depositar uma solução sobre uma superfície, onde a solução compreende:

a1) de 0% a 100% de compostos inertes;

a2) de 0% a 100% de água destilada;

b) obter uma imagem digital da superfície;

c) analisar a imagem de b).

Em uma realização preferencial, foram produzidas soluções de álcool isopropílico e água destilada (AIA) para definir a classificação da hidrofobicidade (HC) em superfícies sem desgaste.

[0026] É, portanto, um objeto adicional da presente invenção um sistema compreendendo o método de determinação da hidrofobicidade.

[0027] Em um outro aspecto, a presente invenção apresenta um método de avaliação do envelhecimento de superfícies novo e melhorado, no qual são utilizados cálculos de diversos parâmetros sobre as imagens a fim de permitir a determinação do envelhecimento da determinada superfície.

[0028] É um objeto adicional da presente invenção um método de avaliação do envelhecimento de superfícies compreendendo as etapas de:

- a) deposição sobre uma superfície de uma solução compreendendo:
 - a1) de 0% a 100% de compostos inertes;
 - a2) de 0% a 100% de água destilada;
- b) obter pelo menos uma imagem da superfície de a);
- c) analisar a textura utilizando o processamento digital da imagem obtida em b), determinando:
 - c1) entropia; e/ou
 - c2) dimensão fractal; e/ou
 - c3) morfologia matemática;
- d) determinar a hidrofobicidade da superfície, de acordo com c);
- e) avaliar o envelhecimento superficial da superfície de acordo com a hidrofobicidade de d).

[0029] Em uma realização preferencial, o método de avaliação do envelhecimento de superfícies permite o ajuste das curvas da determinação da hidrofobicidade de superfícies.

[0030] Em uma realização preferencial, o processamento digital da imagem compreende a detecção de bordas, realizada através de matrizes de convolução.

[0031] Em uma realização preferencial, o cálculo da dimensão fractal utiliza um procedimento iterativo no qual é feita uma variação no tamanho dos *box* usados no cálculo, com uma leitura única das informações sobre os tons de cinza da imagem.

[0032] Em uma realização preferencial, o cálculo da dimensão fractal da imagem é feito por regressão linear utilizando o método dos mínimos quadrados para a determinação do coeficiente angular em um gráfico log-log, otimizando o processamento.

[0033] Em uma realização preferencial, a determinação da entropia das imagens é realizada obtendo-se o histograma original da imagem através da varredura de pixels e acumulação de valores.

[0034] Em uma realização preferencial, a determinação da entropia compreende a normalização relativa ao tamanho da imagem, de forma a equalizar o valor para qualquer imagem analisada.

[0035] Em uma realização preferencial, a determinação utilizando morfologia matemática compreende a binarização da imagem original, permitindo a aplicação com maior confiabilidade dos operadores matemáticos de abertura ou fechamento.

[0036] Em uma realização preferencial, a determinação utilizando morfologia matemática compreende rotinas de abertura e/ou fechamento com aplicação do elemento estruturante quadrado de cerca de 3x3 até 61x61.

[0037] Em uma realização preferencial, o método de avaliação do envelhecimento da superfície compreende em aplicativos que permitem o funcionamento do mesmo em dispositivos móveis.

[0038] É, portanto, um objeto adicional da presente invenção um sistema compreendendo o método de avaliação do envelhecimento de superfícies.

[0039] Esses e outros objetos da invenção serão melhor valorizados após a descrição contendo detalhes suficientes para sua reprodução a seguir.

Breve Descrição das Figuras

[0040] A figura 1 mostra o fluxograma do algoritmo de convolução para detecção de bordas, onde: (0) Não; (1) Sim; (A0) Início; (A1) Inicialização das Variáveis; (A2) Faixa B?; (A3) Fim; (A4) Fim da Imagem; (A5) Modifica EE; (A6) Somatório: Valor pixel X Máscara; (A7) Pixel Saída.

[0041] A figura 2 mostra o fluxograma para o cálculo da dimensão fractal, onde: (0) Não; (1) Sim; (B0) Início; (B1) Inicializa variáveis; (B2) Faixa do tamanho BOX; (B3) Fim da Imagem?; (B4) Incrementa BOX; (B5) Cinza_máx no BOX; (B6) Cinza_mín no BOX; (B7) Somatório [(Cinza_máx –

Cinza_mín)/BOX]+1; (B8) $d = \log(\text{Somatório}) / \log(2^{\text{BOX}})$; (B9) df=coeficiente linear da reta d vs BOX.

[0042] A figura 3 mostra o fluxograma para a determinação da entropia (S) das imagens, onde: (0) Não; (1) Sim; (C0) Início; (C1) Inicializa variáveis; (C2) Fim da Imagem?; (C3) Armazena histograma; (C4) Normaliza histograma; (C5) Gráfico histograma normalizado; (C5) $S = \text{SUM}[p(k) - \log_2(p(k))]$; (C6) Exibe valor entropia; (C7) Fim.

[0043] A figura 4 mostra o fluxograma para determinação da HC por morfologia matemática abertura/fechamento, onde: (D0) Início; (D1) Captura Imagem; (D2) Morfologia Matemática (abertura/fechamento); (D3) Cálculo da derivada Tamanho EE vs. Volume; (D4) Obtenção dos pontos de máximo e mínimo; (D5) Determinação do HC; (D6) Fim.

[0044] A figura 5 mostra o fluxograma do método de avaliação do envelhecimento de superfícies, onde: (E0) Início; (E1) Obtenção da Imagem Escala de Cinza; (E2) Equilíbrio Histograma; (E3) Abertura (B=1;3); (E4) Derivada Volume; (E5) Aplicação do filtro WTH41; (E6) Entropia; (E7) Dimensão Fractal; (E8) Determinação HC; (E9) Mostrar Valor; (E10) Fim.

Descrição Detalhada da Invenção

[0045] Os exemplos aqui mostrados têm o intuito somente de exemplificar uma das inúmeras maneiras de se realizar a invenção, contudo sem limitar, o escopo da mesma.

Compostos Inertes

[0046] Os “compostos inertes” da presente invenção compreendem quaisquer substâncias com alta apolaridade de cadeia carbônica e baixa pressão de vapor que sejam inertes à superfície que será utilizada para o estudo, não provocando danos a superfície dos mesmos durante os ensaios aplicando os compostos inertes. Em especial, podem ser utilizados álcoois conhecidos do estado da técnica, como álcool metílico, etílico, butílico, propílico, amílico, diacetônico entre outros e/ou a mistura dos mesmos.

[0047] Em uma realização preferencial, é utilizado o álcool isopropílico devido à alta apolaridade de sua cadeia carbônica, (molhando completamente a superfície do isolador); por ser de fácil remoção, sem deixar resíduos, apresentar baixo custo e baixa pressão de vapor. Em especial, isoladores poliméricos são

inertes ao álcool isopropílico, não provocando danos à sua superfície durante os ensaios.

Água destilada

[0048] A “água destilada” da presente invenção compreende a água obtida através do método de destilação (condensação do vapor de água). A utilização de água destilada na presente invenção apresenta-se como um diferencial, uma vez que a água destilada não contém sais que podem interferir no molhamento das superfícies. Em especial, podem ser utilizadas quaisquer outras soluções de água modificadas que possuam as características de condutividade e/ou resistência semelhantes à água destilada, como água desmineralizada e/ou deionizada.

Método de determinação da hidrofobicidade

[0049] O método de determinação da hidrofobicidade de superfícies da presente invenção compreende as etapas de:

a) depositar uma solução sobre uma superfície, onde a solução compreende:

a1) de 0% a 100% de compostos inertes;

a2) de 0% a 100% de água destilada;

c) obter uma imagem da superfície;

d) analisar a textura da imagem de c).

[0050] O único equipamento de teste necessário para a realização do ensaio da classificação da hidrofobicidade é uma garrafa para borrifar água, a qual pode produzir uma fina névoa da solução. Para complementar o julgamento da classificação, caso necessário, se faz o uso de uma lupa, lâmpada e uma fita de medida.

[0051] A área testada deve ser de 50 até 100cm². O *spray* deve ser aplicado uma ou duas vezes por segundo a uma distância de 25±10cm. A névoa deve continuar por 20 a 30 segundos. A classificação da hidrofobicidade deve ser feita 10 segundos após a névoa ter sido dispersada.

[0052] As gotas exibem estes ângulos quando estão sobre uma superfície inclinada. O ângulo de retrocesso é o mais importante quando se procura as propriedades de molhamento de um isolador.

[0053] A norma internacional IEC 62073 TS Ed. 1.0 (Guia para medida da molhabilidade da superfície de isoladores elétricos) determina três métodos para

a determinação da HC: Método A – ângulo de contato; Método B – tensão superficial; e Método C – spray.

Sistemas

[0054] Os sistemas da presente invenção compreendem quaisquer formas de automatizar o método de determinação da hidrofobicidade ou o método de avaliação do envelhecimento das superfícies. Em especial, o sistema pode compreender hardware(s) ou software(s) contendo os métodos, como PCs, servidores ou quaisquer arquiteturas de hardware presentes em dispositivos locais e/ou móveis, que possam atender a finalidade do evento. Em especial, as formas automatizadas dos métodos podem compreender programas computacionais em quaisquer linguagens de programação, capazes de funcionar em diversos sistemas operacionais, como Linux, Symbian, Windows, entre outros, podendo ser utilizados à distância ou *in loco*.

[0055] Em especial, os sistemas compreendendo os referidos métodos são capazes de funcionar em dispositivos móveis, como notebooks, laptops, celulares, pocket pcs, palm tops, entre outros, bem como a combinação dos mesmos.

[0056] Em especial, a partir dos melhores resultados com relação ao percentual de acerto e tempo de processamento, um aplicativo em ambiente Windows Mobile® compreendendo o método desenvolvido visa a aplicação desta ferramenta *in-loco*, permitindo a obtenção da imagem e o resultado da avaliação da HC, gerando um relatório para futuras consultas.

Exemplo 1. Parâmetros para avaliação do envelhecimento superficial

Exemplo 1.1 – Método para detecção de bordas através de matrizes de convolução

[0057] O método para o cálculo da convolução está descrito resumidamente na Figura 1. Para reduzir o número de iterações desnecessárias, foi incluída uma variável para limitar o ciclo de cálculos em função do tamanho da matriz. Este procedimento reduziu em 40% o tempo de execução da rotina original quando analisada uma matriz de 3x3.

Exemplo 1.2 - Método para cálculo da dimensão fractal

[0058] O método para o cálculo da dimensão fractal está representado na Figura 2. As análises foram realizadas em imagens do tipo *bitmap*. Deve ser observado que, na implementação aqui mostrada, a principal preocupação é a aplicação final do cálculo da dimensão fractal de imagens. Em termos de eficiência o método desenvolvido é capaz de medir dimensões fractais em todo intervalo entre 2 e 3 (inclusive). Características importantes desta implementação (visando a diminuição do tempo de processamento) são: o uso de um procedimento iterativo no qual é feita uma variação decrescente no tamanho dos *box* usados no cálculo; a leitura única das informações sobre os tons de cinza da imagem e o cálculo da dimensão fractal da imagem são feitos por regressão linear utilizando o método dos mínimos quadrados para a determinação do coeficiente angular em um gráfico log-log.

[0059] Este algoritmo visa a determinação da dimensão fractal de imagens em escala de cinza. Este procedimento otimiza o processamento, uma vez que não são necessários procedimentos auxiliares, tais como binarização ou detecção de bordas.

Exemplo 1.3 - Determinação da Entropia das imagens

[0060] Para o cálculo da entropia das imagens foi implementado o método com fluxograma apresentado na Figura 3.

[0061] Pode ser observado que inicialmente é obtido o histograma original da imagem, através da varredura dos *pixels* e acumulação dos respectivos valores. Posteriormente, é feita a normalização relativa ao tamanho da imagem, de forma a equalizar o valor para qualquer imagem analisada. Após esta etapa, determina-se o valor da entropia da imagem. Toda a rotina não demora mais que um segundo.

Exemplo 1.4 - Algoritmo para determinação da HC utilizando binarização e morfologia matemática.

[0062] A partir da binarização da imagem original, pode-se aplicar com maior confiabilidade os operadores matemáticos de abertura e fechamento. Apesar dos operadores poderem ser aplicados em imagens com escala de cinza, foram obtidos melhores resultados quando aplicados nas imagens binárias. A

Figura 4 ilustra a seqüência dos procedimentos utilizados na determinação da HC utilizando imagens binárias.

[0063] As imagens binarizadas são submetidas às rotinas de abertura e fechamento com a aplicação do elemento estruturante quadrado com dimensões de lado variando de 3x3 até 61x61. Este limite superior foi definido com base em um quarto da altura da imagem original, pois pelo procedimento padrão, as gotas não apresentam dimensões superiores a este valor. Posteriormente foi obtida uma curva do volume das imagens em função do tamanho do elemento estruturante. Esta curva é derivada em função do tamanho do elemento estruturante. Os valores de picos da curva da derivada são definidos para determinar o tamanho dos elementos estruturantes presentes na imagem.

[0064] De acordo com Soille, os pontos de máximo e mínimo da derivada representam o tamanho dos elementos presentes na imagem analisada. Para o caso do estudo da hidrofobicidade, estes picos indicam a presença de gotas e a distribuição de seus tamanhos.

Exemplo 1.5 - Metodologia para Obtenção de Imagens Simuladas

Imagens Simuladas

[0065] Com a finalidade de validar o modelo utilizado foram criadas imagens baseadas na classificação da hidrofobicidade do guia STRI. Os algoritmos baseados na análise da morfologia matemática, cálculo da dimensão fractal e entropia foram utilizados para avaliar a textura das imagens simuladas.

[0066] Para a validação do aplicativo implementado, inicialmente foram obtidas imagens a partir de placas de silicone com os diferentes valores de HC. Estas placas foram produzidas com a mesma composição dos isoladores elétricos atualmente utilizados nas linhas de transmissão.

[0067] Como sugerido em trabalhos realizados por outros autores, inicialmente as superfícies destas placas foram submetidas ao desgaste por jato-de-areia, para a obtenção do HC01 até HC06. Porém este procedimento se mostrou pouco eficiente, pois não foi possível controlar o desgaste das placas combinado ao HC desejado.

[0068] Desta forma foram produzidas soluções de álcool isopropílico e água destilada (AIA) para definir os HC em superfícies sem desgaste. Neste trabalho a referência do volume será feito em relação à quantidade de álcool

isopropílico na solução. Inicialmente foram definidos os ângulos de molhamento de cinco gotas para cada concentração da solução, e estes ângulos foram relacionados com o guia da STRI. Posteriormente foram obtidas cinco imagens utilizando uma câmera digital com resolução de 640x480 *pixels*, para análise da textura por morfologia matemática e dimensão fractal e entropia relacionadas a seguir com o guia STRI. A dimensão de 640x480 *pixels* esta baseada nas câmeras atualmente embarcadas nos *pocket's PC*. O álcool isopropílico foi escolhido pela alta apolaridade da cadeia carbônica, (molhando completamente a superfície do isolador), ser de fácil remoção sem deixar resíduos, baixo custo e baixa pressão de vapor.

Exemplo 1.6 - Obtenção das curvas de abertura e fechamento das imagens padrão.

[0069] Com o objetivo de definir texturas padrão para análise da HC, foram realizadas as operações de abertura e fechamento nas imagens da STRI. A partir destas operações foram obtidas curvas do volume das imagens em função do tamanho do elemento estruturante, que de acordo com Soille podem ser utilizados elementos quadrados para definir o tamanho dos elementos presentes na imagem. O valor do volume aumenta para a operação de abertura e se reduz quando aplica-se a operação de fechamento, mostrado a funcionalidade do processo utilizado.

[0070] Para ser possível realizar a comparação entre as curvas, elas foram normalizadas de 0 até 100. Após este procedimento, foram obtidas as derivadas para definição dos elementos presentes na imagem. Posteriormente, calculou-se as integrais destas curvas como forma de quantificação das estruturas presentes na imagem.

[0071] Os resultados obtidos com estas imagens não apresentaram nenhuma correlação que pudesse gerar algum ajuste matemático. Desta forma, foram geradas as imagens simuladas para validar o modelo proposto neste trabalho.

Exemplo 1.7 - Ângulo de molhamento

[0072] Para definir um padrão de molhamento foram medidos os ângulos de contato das gotas de solução de 0 até 100%AIA, sobre uma superfície plana

e horizontal. O material desta superfície tem a mesma composição do isolador elétrico.

[0073] A partir das imagens das gotas foi realizada a detecção de contornos utilizando Sobel, pois apresentou a melhor definição dos contornos entre as matrizes testadas. Analisando a evolução do perfil das gotas para soluções variando de 0 até 90%AIA, nota-se a evolução na redução do ângulo de contato com a adição do álcool. Isto pode ter sido causado devido à redução da tensão superficial, uma vez que a solução passa a apresentar uma característica mais apolar devido às cadeias orgânicas do álcool. Para comparar estes resultados com os padrões da STRI foi gerado uma curva, na qual a solução 0%Al apresenta HC01; as soluções de 10 e 20%vol AIA representa HC02 e HC03; as soluções de 30 até 80%vol AIA representam HC03; para a solução acima de 80%vol AIA estaria na faixa do HC04, HC05 e HC06, porém no próprio guia da STRI estes índices não são definidos pelo ângulo de contato, mas pela textura da imagem analisada.

Exemplo 1.8 - Ajuste de luminosidade

[0074] Uma grande dificuldade encontrada para a obtenção das imagens foi a condição de luminosidade, que influencia no histograma, na detecção de bordas e na determinação dos valores da dimensão fractal e entropia. Desta forma, foi utilizado o filtro *white top-hat* para a correção deste fator. A determinação do tamanho do elemento estruturante para a aplicação do filtro foi baseada na sua influência sobre a imagem gerada. Foram medidos os volumes das imagens filtradas em função do tamanho do elemento estruturante.

[0075] Pode ser observado que a derivada do volume em relação ao tamanho do elemento estruturante apresenta redução para $B > 41 \times 41$, sugerindo que este tamanho seja o ideal para uma imagem de 400×400 pixels, referente a uma imagem de um objeto de 10×10 cm, sendo definido como WTH41.

Exemplo 1.9 - Análise por Morfologia Matemática

[0076] Neste tópico serão descritos os métodos de avaliação do tempo de processamento e dos resultados obtidos pela avaliação por morfologia matemática.

Avaliação do tempo de processamento.

[0077] Como uma das formas de avaliar esta metodologia, foi determinado o tempo de processamento das imagens. Para isso, as imagens foram processadas em um microcomputador Pentium IV 1,7 MHz, com 512Mb de memória RAM. Pode ser notada que há significativa redução do tempo de processamento com a iteratividade do algoritmo. Desta forma, a implementação do algoritmo iterativo reduziu significativamente o tempo de processamento, contribuindo para a sua utilização.

Avaliação das imagens por morfologia matemática.

[0078] Para as imagens 100%AIA, houve convergência para o tamanho do elemento estruturante de 15, enquanto que para as imagens 0%AIA a convergência ocorreu em torno de 41. Isto está associado a ausência de elementos definidos nas imagens 100%AIA, efeito que se reduz com a evolução das imagens na direção de 0%AIA.

[0079] Com relação às outras figuras não foi observado uma relação direta entre as curvas de abertura com a textura da imagem. Isto pode estar associado ao fato da alteração dos valores de abertura com o tratamento das imagens.

[0080] Nota-se ainda que as imagens com a aplicação do filtro WTH41 tendem a apresentarem o mesmo comportamento e convergem quando o elemento estrutural é igual a 41. Isto está relacionado ao tamanho do elemento utilizado no filtro, definindo o ponto de convergência.

[0081] Na derivada do volume da abertura normalizada em função do tamanho do elemento estruturante, para valores acima de 50%AIA, não houve modificação relativa a este ponto. Isto pode estar relacionado com o fato de que o molhamento não apresenta uma estrutura uniforme, o que não poderia ser identificado através do elemento estruturante.

[0082] O valor inicial da derivada das curvas se torna maior (em módulo) com o aumento do valor de AIA. Desta forma, pôde ser gerada uma curva com a relação entre esta derivada inicial em função das imagens de AIA.

[0083] A curva para as imagens originais apresenta uma tendência mais acentuada que as demais. Assim, a obtenção de uma relação matemática neste

caso se torna mais apropriada pelo aumento da diferença na classificação dentre as imagens. Porém as curvas para imagens EQU, EQU+WTH41 e EQU+WTH41+EQU apresentam comportamentos semelhantes, podendo ser utilizadas como referência na classificação da hidrofobicidade.

[0084] Baseado nestas observações, as curvas foram ajustadas linearmente. A Tabela 1 mostra os valores do coeficiente de correlação, linear e angular de cada curva.

Tabela 1. Valores dos coeficientes de correlação, angular e linear referente ao ajuste.

Imagem	Coef. de correlação	Coef. angular	Coef. Linear
OR	-0,99639	-0,01129	-0,02729
EQU	-0,99759	-0,0004037	-0,03344
EQU+WTH41	-0,99500	-0,0006158	-0,03523
EQU+WTH41+EQU	-0,99704	-0,0006045	-0,03852

[0085] O ajuste da curva para as imagens otimizadas apresentou o maior valor do coeficiente de correlação, refletindo um bom resultado para as curvas EQU+WTH41 e EQU+WTH41+EQU. Desta forma, a equação a ser implementada para a classificação da hidrofobicidade por este método, deverá ser definida por:

$$AIA = 2477,08 \frac{d(V_{ab})}{dB_3} - 82,83$$

onde $\frac{dV_{ab}}{dB_3}$ é a derivada do volume da abertura para um elemento estruturante de tamanho 3x3.

Análise por Dimensão Fractal

[0086] Nesta etapa do trabalho, as imagens foram analisadas de acordo com o valor da dimensão fractal. Inicialmente foram analisadas as imagens binárias, por detecção de bordas, e posteriormente as imagens em escala de cinza.

Imagens com detecção de bordas por Soebel

[0087] Inicialmente as imagens submetidas a detecção de borda por Sobel e posteriormente binarizadas. Estas imagens foram avaliadas através da dimensão fractal. Pode ser observada a dependência da $\cdot XE$ “dimensão fractal das imagens em função das imagens de AIA. As imagens EQU+WTH41 e EQU+WTH41+EQU não puderam ser avaliadas pois não apresentaram bordas.

[0088] Pode ser observado que as curvas não apresentam um comportamento que possa gerar uma função injetora, podendo criar ambigüidade nos resultados.

Imagens em escala de cinza

[0089] Outra forma de analisar a textura das imagens é utilizar a imagem em escala de cinza, ou seja, sem o processo de binarização. A partir das curvas não foi possível determinar uma função unívoca, exceto para as imagens WHT41.

[0090] Pode ser observada a tendência de convergência para as imagens de acima de 50%AIA. Nota-se que as curvas apresentam relativa semelhança entre si, a diferença entre os valores está relacionada com a alteração na complexidade da imagem com a aplicação dos tratamentos de imagem.

[0091] A curva para as imagens WTH41 apresentou uma tendência podendo ser ajustada matematicamente para calcular o HC do isolador, além de ter uma dispersão relativamente pequena. Desta forma, o melhor ajuste foi uma função exponencial da seguinte:

$$AIA = 97,0207 \times \exp \frac{(2,4394 - df)}{0,08067}$$

[0092] Esta função será avaliada posteriormente na classificação da hidrofobicidade.

Análise por Entropia

[0093] No caso das imagens analisadas por entropia, nota-se uma significativa redução na dispersão dos valores quando comparados aos obtidos por dimensão fractal. Porém esta redução é mais significativa para as imagens

com aplicação do WTH41. Desta forma foi feito o ajuste exponencial desta curva, sendo obtida a seguinte função:

$$AIA = (-34,49905 \pm 2,76697) + (141,26567 \pm 7,72408) \times S$$

Modelo para Classificação da Hidrofobicidade

[0094] A partir dos resultados obtidos foi possível obter funções entre as texturas geradas e o grau de molhamento da superfície. Assim, propõe-se a classificação da hidrofobicidade com a utilização dos modelos apresentados nas equações 1, 2 e 3.

[0095] Assim, um método está implementado em um dispositivo portátil para a classificação da hidrofobicidade dos isoladores elétricos. Futuros ensaios como tempo de processamento e percentual de acerto serão avaliados para unificar o método de classificação.

[0096] Diversos ajustes nas imagens foram realizados a fim de se obter resultados mais precisos, reduzindo a dispersão dos valores. Dentre os possíveis ajustes nas imagens, de forma a reduzir o processamento computacional foram: o ajuste de histograma, equilibrando os valores de cinza das imagens, e o filtro *White top-hat*, que reduz as diferenças de iluminação nas imagens.

[0097] Não pode ser observada uma tendência a partir dos resultados obtidos por morfologia matemática. Isso foi causado devido à falta de uniformidade das gotas de água sobre a superfície, o que afeta de forma significativa o ajuste do elemento estruturante com a forma na imagem. Porém pode ser obtida uma relação linear entre a derivada do volume da abertura em função das imagens de AIA para elemento estruturante de tamanho 3x3. Neste caso o melhor resultado foi obtido para as imagens otimizadas, com um coeficiente de correlação de 0,99759.

[0098] Os valores de dimensão fractal obtidos através do método de *box-counting* apresentou uma tendência a convergência bastante significativa. Os resultados apresentaram uma pequena dispersão, tornando este método confiável. Apesar disso, os resultados obtidos para as imagens com a aplicação do filtro WTH41 apresentaram uma tendência exponencial, se apresentando viável para utilização na classificação da hidrofobicidade dos isoladores.

[0099] A análise das imagens através da entropia se mostrou o método confiável, pois apresentou uma dispersão reduzida. Os resultados obtidos através deste método também apresentaram uma tendência linear, podendo ser facilmente implementado.

[00100] Para a implementação dos algoritmos no dispositivo portátil para análise da hidrofobicidade dos isoladores deverá ser realizado baseado nas funções apresentadas, utilizando imagens otimizadas por equilíbrio de histograma, por apresentar resultados menos dispersos e tempo de resposta em aproximadamente 1 segundo.

[00101] Os aplicativos para implementação dos algoritmos foram desenvolvidos em Delphi 7 da Borland, que tem como base a linguagem Pascal. Esta ferramenta foi utilizada devido à fácil aplicabilidade na manipulação de imagens e relativa velocidade de processamento comparado com aplicativos atualmente utilizados para este fim. A grande maioria dos trabalhos revisados utiliza o Matlab para a análise das imagens. Apesar deste aplicativo possuir diversas ferramentas prontas para a análise de imagens, optou-se por desenvolvê-las para futura e inovadora implementação em dispositivos portáteis.

[00102] O técnico no assunto saberá avaliar que a presente invenção pode ser realizada de diferentes maneiras à luz das informações aqui descritas.

Reivindicações

1. Método de determinação da hidrofobicidade de superfícies **caracterizado por** compreender as etapas de:

a) depositar uma solução sobre uma superfície, onde a solução compreende:

a1) compostos inertes como álcool metílico, etílico, butílico, propílico, amílico, diacetônico entre outros e/ou a mistura dos mesmos, preferencialmente álcool isopropílico;

a2) de 0% a 100% de água destilada;

b) obter uma imagem da superfície;

c) analisar a imagem obtida em b), utilizando o processamento digital da imagem determinando:

c1) entropia; e/ou

c2) dimensão fractal; e/ou

c3) morfologia matemática;

d) determinar a hidrofobicidade da superfície, de acordo com c).

2. Método de determinação, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pela solução preferencialmente compreender álcool isopropílico e água destilada (AIA), permitindo definir a classificação da hidrofobicidade (HC) em superfícies sem desgaste.

3. Método de avaliação do envelhecimento de superfícies **caracterizado por** compreender as etapas de:

a) depositar uma solução sobre uma superfície, onde a solução compreende:

a1) compostos inertes compostos inertes como álcool metílico, etílico, butílico, propílico, amílico, diacetônico entre outros e/ou a mistura dos mesmos, preferencialmente álcool isopropílico;

a2) de 0% a 100% de água destilada;

b) obter pelo menos uma imagem da superfície de a);

c) analisar a textura utilizando o processamento digital da imagem obtida em b), determinando:

c1) entropia; e/ou

c2) dimensão fractal; e/ou

c3) morfologia matemática;

- d) determinar a hidrofobicidade da superfície, de acordo com c);
 e) avaliar o envelhecimento superficial da superfície de acordo com a hidrofobicidade de d).

4. Método de avaliação, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado por** permitir o ajuste das curvas da determinação da hidrofocidade de superfícies.

5. Método de avaliação, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pela classificação da hidrofobicidade através do ajuste das curvas de entropia compreender a equação 1:

$$AIA = (-34,49905 \pm 2,76697) + (141,26567 \pm 7,72408) \times S$$

Equação 1

6. Método de avaliação, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pela classificação da hidrofobicidade através do ajuste das curvas de dimensão fractal compreender a equação 2:

$$AIA = 97,0207 \times \exp \frac{(2,4394 - df)}{0,08067}$$

Equação 2

7. Método de avaliação, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pela classificação da hidrofobicidade através do ajuste das curvas da morfologia matemática compreender a equação 3:

$$AIA = 2477,08 \frac{d(V_{ab})}{dB_3} - 82,83$$

Equação 3

onde $\frac{dV_{ab}}{dB_3}$ é a derivada do volume da abertura para um elemento estruturante de tamanho 3x3.

8. Método de avaliação, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** pelo processamento digital da imagem compreender a detecção de bordas, realizada através de matrizes de convolução.

9. Método de avaliação, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** pelo cálculo da dimensão fractal utilizar um procedimento iterativo no qual é feita uma variação decrescente no tamanho dos *box* usados no cálculo, com uma leitura única das informações sobre os tons de cinza da imagem.

10. Método de avaliação, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo cálculo da dimensão fractal ser realizado com um box de tamanho de cubo 3 a 11.

11. Método de avaliação, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** pelo cálculo da dimensão fractal da imagem ser feito por regressão linear utilizando o método dos mínimos quadrados para a determinação do coeficiente angular em um gráfico log-log, otimizando o processamento.

12. Método de avaliação, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** pela determinação da entropia das imagens ser realizada obtendo-se o histograma original da imagem através da varredura de pixels e acumulação de valores.

13. Método de avaliação, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** pela determinação da entropia compreender a normalização relativa ao tamanho da imagem, de forma a equalizar o valor para qualquer imagem analisada.

14. Método de avaliação, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** pela determinação utilizando morfologia matemática compreender a binarização da imagem original, permitindo a aplicação com maior confiabilidade dos operadores matemáticos de abertura ou fechamento.

15. Método de avaliação, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** pela determinação utilizando morfologia matemática compreender rotinas de abertura e/ou fechamento com aplicação do elemento estruturante quadrado de cerca de 3x3 até 61x61.

16. Método de avaliação, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado por** opcionalmente compreender a etapa de ajuste de luminosidade.

17. Método de avaliação, de acordo com a reivindicação 16, **caracterizado** pelo ajuste de luminosidade ser realizado utilizando o filtro *white-top-hat*.

18. Método de avaliação, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** pelo método de avaliação do envelhecimento da superfície estar compreendido em aplicativos que permitem o funcionamento do mesmo em dispositivos eletrônicos.

19. Método de avaliação, de acordo com a reivindicação 18, **caracterizado** pelos dispositivos eletrônicos serem dispositivos móveis, como

pocket pc, celulares, laptops, inclusive usando a internet ou rede de telefonia celular como veículo de comunicação.

20. Sistema compreendendo o método de determinação da hidrofobicidade e/ ou o método de avaliação do envelhecimento de superfícies, **caracterizado pelo** fato de serem utilizadas formas de automatizar hardware(s) como PCs, servidores ou quaisquer arquiteturas de hardware presentes em dispositivos locais e/ou móveis, ou software(s) contendo ao menos um dos métodos definidos nas reivindicações 1 a 19, sendo que, preferencialmente as formas automatizadas dos métodos compreendem programas computacionais em linguagem de programação capaz de funcionar em diversos sistemas operacionais, como Linux, Symbian, Windows, entre outros, podendo ser utilizados à distância ou *in loco*.

21. Sistema, de acordo com a reivindicação 20 **caracterizado** pelo fato de os referidos métodos serem capazes de funcionar em dispositivos móveis, como notebooks, laptops, celulares, pocket pcs, palm tops, entre outros, bem como a combinação dos mesmos.

FIGURAS

Figura 1

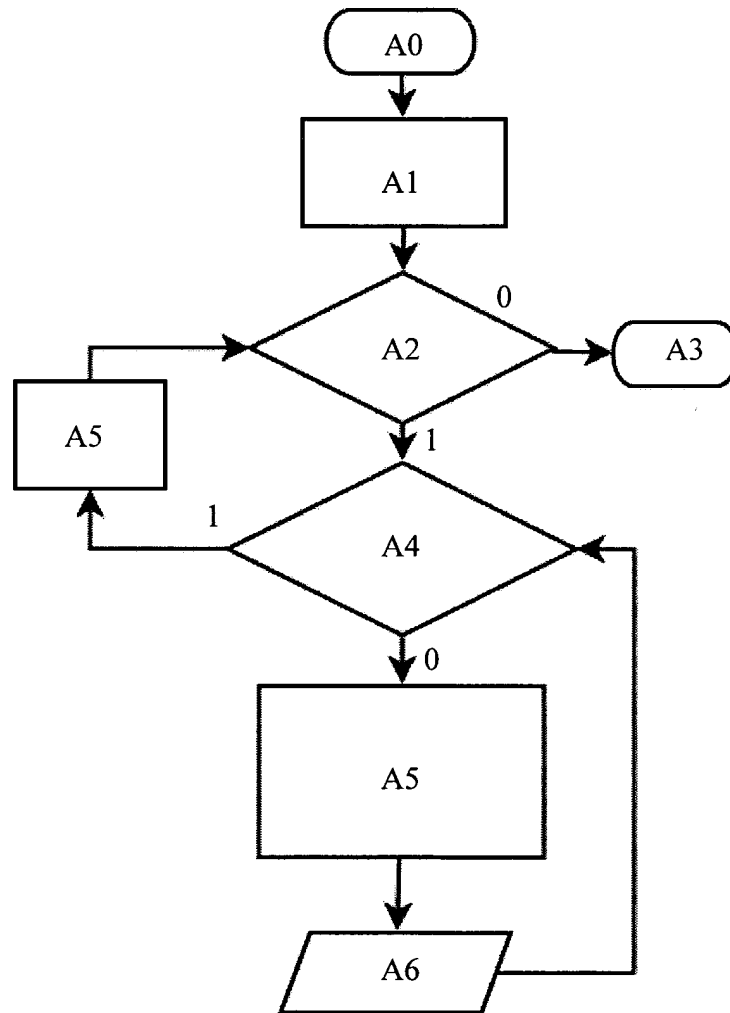


Figura 2

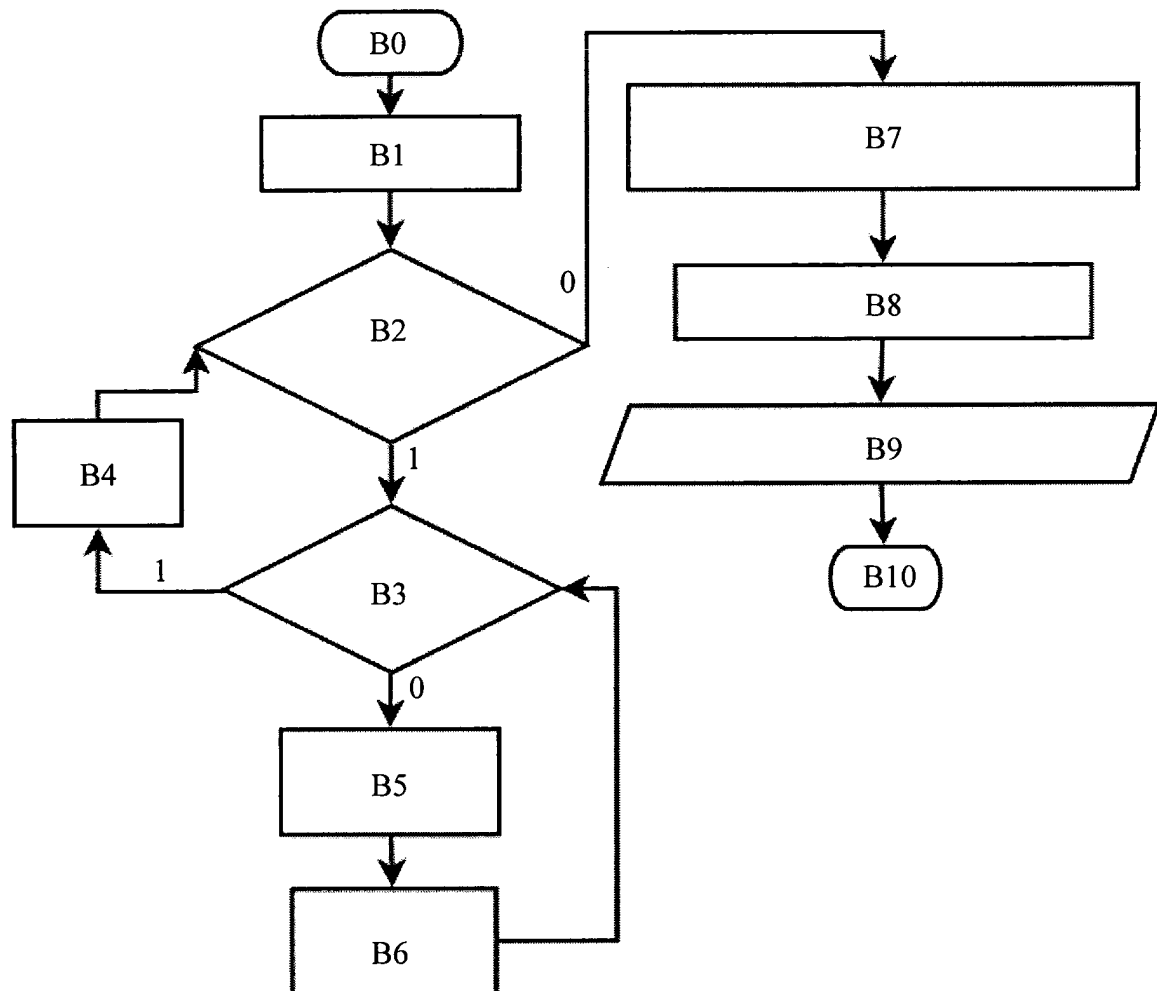


Figura 3

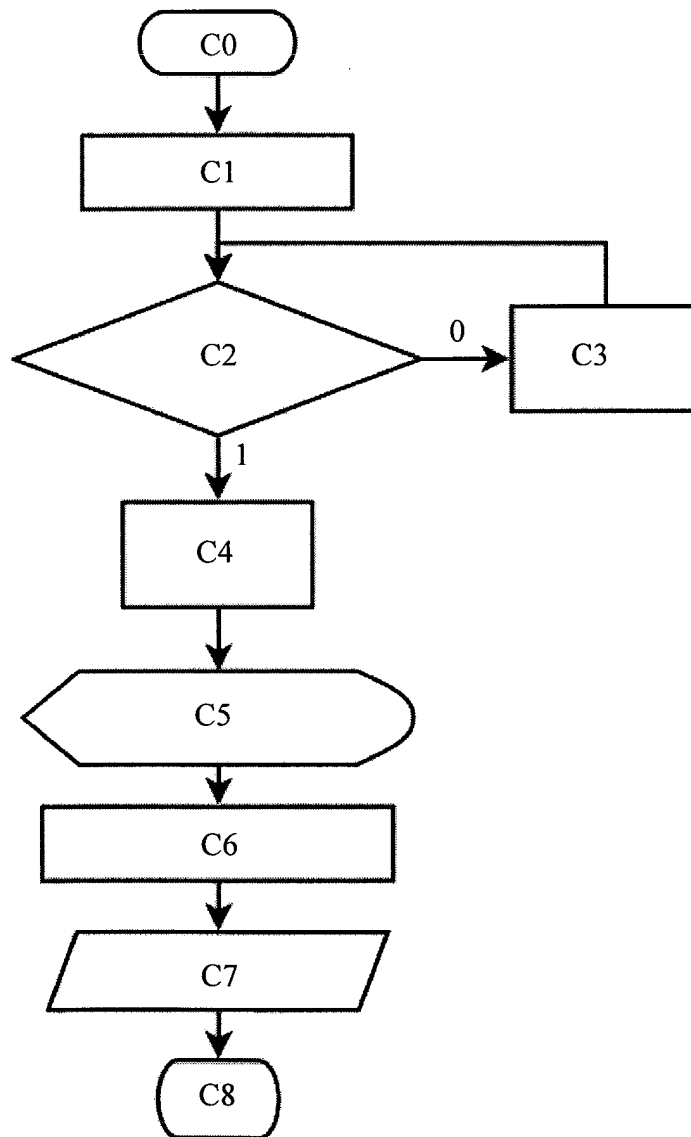


Figura 4

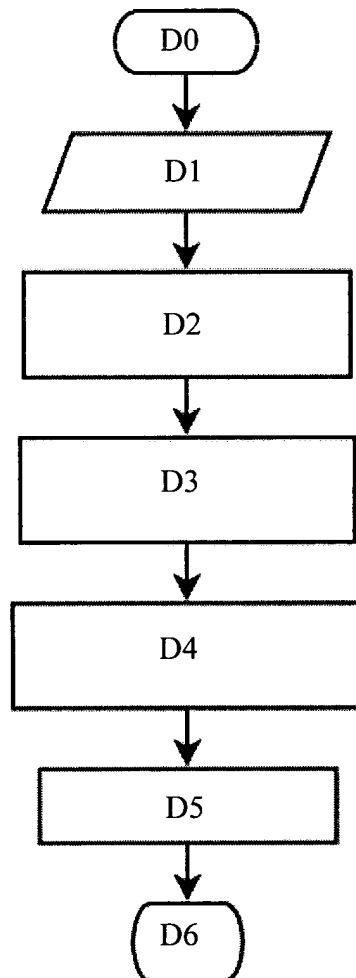


Figura 5

