

# Comparative study of the status indicators in transmission line circuit-switchers

A. L. de Oliveira,  
L. C. Magrini, C. Cunha Jr.  
FDTE  
São Paulo, Brasil  
aoliveira@fdte.org.br,  
magrini@fdte.org.br,  
carlos.cunha.jr@gmail.com

H. Y. Kim  
Dept. de Engenharia de Sistemas  
Eletrônicos  
Universidade de São Paulo  
São Paulo, Brasil  
hae@lps.usp.br

M. A. Kviatkowski  
AES-Eletropaulo  
São Paulo, Brasil  
marcio.kviatkowski@aes.com

**Abstract** — For the remote operation of transmission line circuit-switchers that are equipped with electric arches extinction chamber must be known the signal provided by mechanical flags that signalizes the status of SF6 gas pressure as well the state of the electrical contact inside of the chamber. This visual inspection required is costly and may generate delays, reducing the availability of the equipment. This R&D project proposed the development of a monitoring system supporting different technologies that will permit that AES Eletropaulo choose the better solution for each particular field condition. The developed system implements the automatic monitoring of the real status of mechanical flags by the use of the optical sensors, as well the state of the switch (open/closed) through position sensors and images captured e processed in the instant of the maneuver.

**Index Terms** – Data acquisition, substation automation system, circuit-switchers, image processing, sensors.

## I. INTRODUÇÃO

Na operação remota de chaves seccionadoras, equipadas com câmara de extinção de arcos elétricos, é necessário ter ciência do real estado dos visores sinóticos, que indicam se o gás SF6 da chave está pressurizado e também se o contato da câmara de extinção está fechado (armado). A verificação destas duas condições é necessária para a realização da manobra da chave, seja de abertura, ou de fechamento.

O gás SF6 é um gás inerte utilizado principalmente pela indústria elétrica, como meio isolante e extintor de arco elétrico, tanto em disjuntores, como em subestação blindada. Caso ocorra uma despressurização da câmara de extinção por vazamento de SF6 a câmara corre o risco de sofrer uma explosão.

Logo é condição obrigatória antes de toda manobra uma confirmação da pressão do gás SF6 na câmara de extinção, o que pode ser feito pelo estado dos visores sinóticos. Além disso, muitas chaves ficam longos períodos sem serem

manobradas, o que faz com que a manobra possa não ser conduzida com sucesso, fazendo com que seja necessário uma confirmação visual do estado da chave (aberta/fechada) após a manobra.

A necessidade de atuação de equipes operacionais de solo, para a confirmação visual, em função da condição climática, localização de difícil acesso, trânsito urbano e áreas urbanas que colocam em risco a segurança pessoal da equipe é custosa, gerando atrasos em operações, e uma menor disponibilidade no fornecimento de energia elétrica ao consumidor final.

A solução proposta pelo sistema consiste na automação da supervisão do status real da sinalização dos visores sinóticos de cada seccionadora por meio de sensores ópticos, bem como do estado da chave (aberta/fechada) através de sensores e por processamento de imagens capturadas no instante da manobra por câmeras digitais. Dispensando desta forma a necessidade de equipes de solo para que as operações sejam realizadas.

Uma Unidade Terminal Remota (UTR) controla a captura das imagens das chaves seccionadoras, obtidas através da câmera digital instalada no local. A identificação do estado destas chaves é mediante processamento da imagem realizado na própria UTR. Este monitoramento também será realizado através da aquisição e processamento das informações dos sensores instalados nas chaves.

Esta verificação será realizada a partir do comando de abertura ou fechamento enviado remotamente pelo Centro de Operações da AES-Eletropaulo, a este mesmo centro serão enviadas as informações obtidas. Além deste monitoramento será realizada a verificação periódica dos sinóticos das chaves seccionadoras, e caso alguma discrepância seja encontrada ela será notificada ao Centro de Operações.

O protótipo deste sistema foi implementado para um conjunto de chaves seccionadoras modelo Mark V (Fig.1),

fabricados pela S&C Electric Company, de abertura central, com uma única câmara de extinção de arcos elétricos.



Fig. 1. Conjunto de chaves seccionadoras monitoradas pelo sistema.

## II. SUPERVISÃO ATRAVÉS DE SENSORES

Diferentes tecnologias de sensoriamento foram empregadas neste sistema, visando confrontar as vantagens e desvantagens de cada tecnologia. Basicamente dois parâmetros serão monitorados por essas diferentes tecnologias, as cores dos visores sinóticos e o estado (aberto/fechado) da chave seccionadora.

### A. Monitoramento dos visores sinóticos

Conforme informado anteriormente em toda manobra de chaves seccionadoras, com câmara de extinção de arcos elétricos, é necessário ter ciência do real estado dos visores

sinóticos, que indicam se o gás SF<sub>6</sub> da chave está pressurizado e se o contato da câmara de extinção está fechado (armado), sendo que essas duas condições são necessárias para a realização da manobra da chave, seja de abertura ou de fechamento.

Para cada chave seccionadora há dois visores sinóticos (Fig.2), o visor localizado atrás da câmara de extinção sinaliza a pressurização do gás SF<sub>6</sub>, se a pressurização estiver normal o visor indicará a cor prata, em caso contrário a cor vermelha. Já o visor do contato da câmara de extinção localiza-se na parte lateral da chave, e se o contato da câmara de extinção estiver fechado (armado) o visor indicará a cor prata, em caso contrário, a cor amarela.

Com o passar do tempo e a exposição dos visores sinóticos às intempéries, tais como chuva e sol, provocam o desgaste das janelas de visualização de acrílico, tornando-as quebradiças dificultando a visualização das cores do sinótico por parte da equipe de solo. O acrílico quando fica quebradiço começa a refletir a luz do sol, confundindo a identificação da cor indicada pelo mesmo. Soma-se a isso a distância da sua localização em relação ao solo, portanto a chance de ocorrer uma confusão na identificação da cor é alta.

A solução proposta neste sistema é o uso de sensores de cores por reflexão, por meio de um sensor composto por um emissor (led de luz branca) e por um receptor fotoelétrico. O sensor é previamente programado para detectar quando da ocorrência da cor desejada, que neste caso amarela e vermelha. Como os sensores estarão instalados numa parte energizada da chave, a transmissão dos dados será mediante comunicação sem fio, via módulo de comunicação padrão Zigbee. Este padrão foi escolhido por ter um baixo consumo energético.

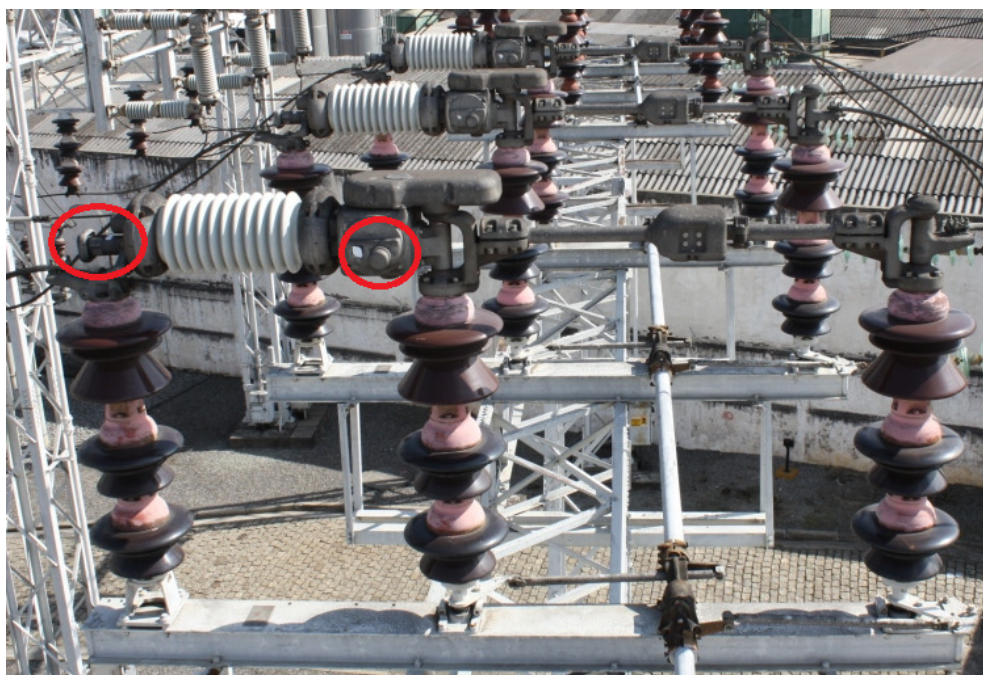


Fig. 2. Conforme indicado na fotografia, à esquerda o visor sinótico de pressurização do gás SF<sub>6</sub>, e a direita o visor do contato da câmara de extinção.

### B. Monitoramento do estado da chave

Por motivos de segurança é condição obrigatória antes de toda manobra de uma chave seccionadora uma confirmação visual do estado da chave (aberta/fechada), bem como após a manobra. Em algumas situações o sistema de supervisão indica que a chave está fechada, quando na verdade por motivo de emperramento a chave não está plenamente fechada e um pequeno arco elétrico pode surgir entre os contatos elétricos, podendo inclusive provocar um aquecimento e explosão da chave seccionadora. Para automatizar esse processo de verificação do estado da chave foram propostas três alternativas utilizando modelos diferentes de sensores, cada um instalado em pólos diferentes. A instalação dos sensores foi realizada nas partes móveis da chave seccionadora, localizada na base do pedestal onde é feita a transmissão do movimento. O motivo desta escolha se deve ao fato dessa área não ser energizada, o que facilita a instalação dos sensores.

O primeiro sensor empregado é uma chave de fim de curso magnética, instalada na base do eixo que transmite o movimento das chaves. Sua operação é simples e o sensor bem robusto, utilizando-se uma chave para indicar a posição aberta e uma outra para indicar a posição fechada.

O segundo sensor é um sensor de posição angular, fixado no eixo de transmissão de movimento para a chave seccionadora, de acordo com o ângulo do eixo um sinal de

4 a 20 mA é fornecido pelo sensor, desta forma é possível monitorar a posição exata da chave seccionadora.

O terceiro sensor é um sensor de posição linear, o sensor possui um cabo que será fixado na manivela de transmissão do movimento da chave, e de acordo com o deslocamento desta terá um sinal de saída de 4 a 20 mA, proporcional a posição da chave seccionadora.

Para a aquisição dos dados provenientes destes sensores, quanto dos sensores de cor, será utilizada uma Unidade Terminal Remota (UTR) (Fig.3), que é um computador com características mecânicas e operacionais mais robustas do que a de um computador pessoal e sem periféricos no qual foram instaladas duas placas: uma analógica e outra digital. A placa analógica é composta por oito entradas, e será responsável pela leitura da saída dos sensores analógicos (sensor de posição linear e angular) que estarão fisicamente conectados a esta placa. A placa digital por sua vez é composta por oito entradas e oito saídas, ela será responsável pela leitura das chaves de fim de curso localizadas na posição da chave aberta e fechada. E também pela leitura dos comandos de abertura e fechamento das chaves, como um único comando aciona os três pólos da chave ele é chamado de comando tripolar. Das saídas somente será utilizada uma saída para o acionamento da iluminação auxiliar das chaves seccionadoras.

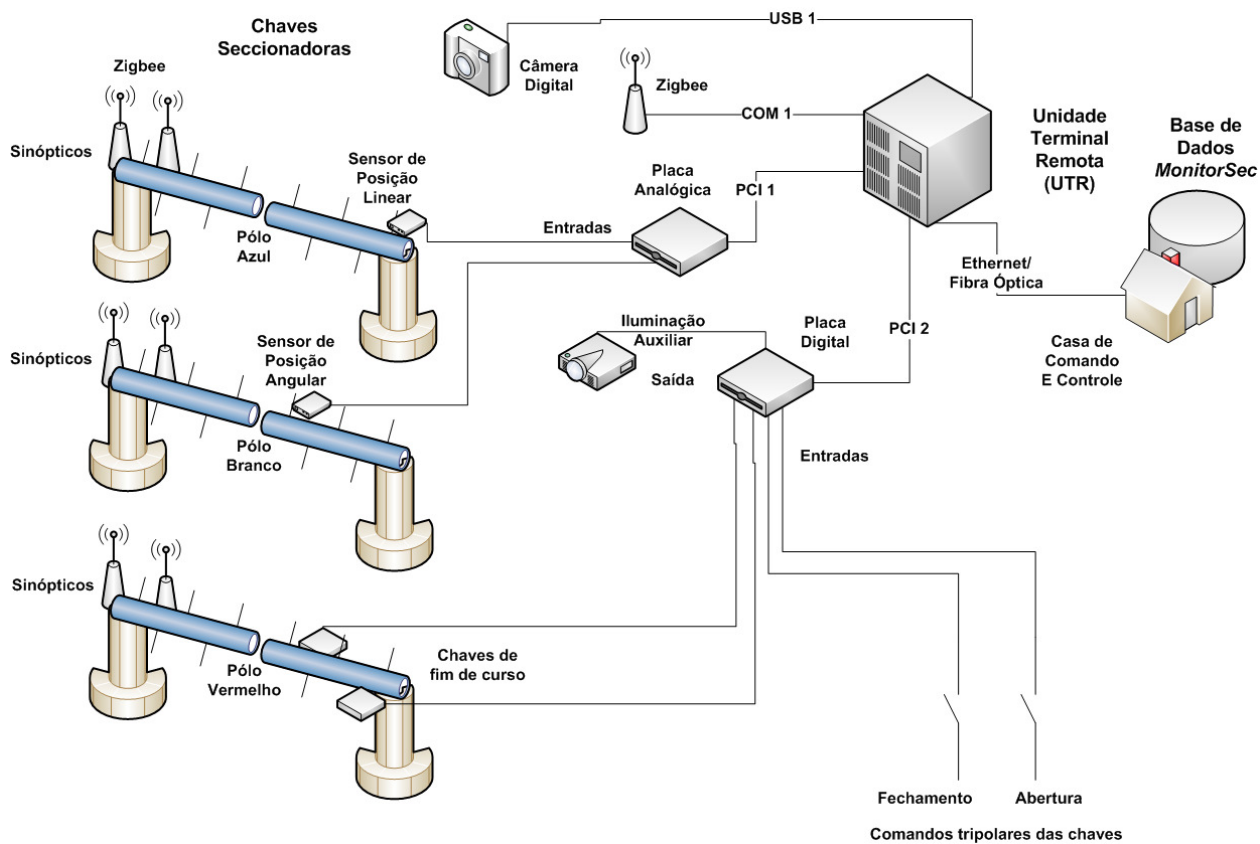


Fig. 3. Diagrama representando a arquitetura completa do sistema de aquisição de dados provenientes dos sensores, bem como das imagens das chaves seccionadoras para posterior processamento.

### C. Análise comparativa dos sensores

A chave de fim de curso magnética, instalada na base do eixo que transmite o movimento das chaves, tem uma operação simples e é um sensor bem robusto, utilizando-se uma chave para indicar a posição aberta e uma outra para indicar a posição fechada. A sua principal desvantagem é que este sensor não consegue indicar a posição da chave no caso da chave permanecer numa posição intermediária que não seja aberta ou fechada;

O sensor de posição angular, fixado no eixo de transmissão de movimento para a chave seccionadora, que de acordo com o ângulo do eixo fornece um sinal de 4 a 20 mA, permite monitorar a posição exata da chave seccionadora. Ele mostrou ter uma boa precisão, acima até do mínimo necessário. Porém um detalhe que foi observado, lembrando que o sensor é composto por duas partes: o sensor propriamente dito e um magneto, que é fixado na parte móvel, caso por algum motivo o magneto solte-se da parte móvel o sensor começará a medir o campo magnético do entorno, sem que o sistema perceba isso e indicará inclusive uma posição da chave que não corresponde a realidade. Destaca-se também que durante a execução do projeto tomou-se conhecimento que na manutenção preventiva das chaves a equipe técnica deve realizar uma regulação mecânica dos pólos da chave, de forma que tenham um sincronismo na posição mecânica. caso este sensor seja instalado nos três polos, ele poderia ser utilizado inclusive para indicar caso houvesse desregulação mecânica destes pólos;

Quanto ao sensor de posição linear, o sensor possui um cabo que foi adaptado para ser fixado na manivela de transmissão do movimento da chave, e de acordo com o deslocamento teria um sinal de saída de 4 a 20 mA, proporcional a posição da chave seccionadora. Este sensor foi apresentado aos eletricitistas da AES-Eletropaulo que fazem a manutenção preventiva das chaves seccionadoras, e por parte deles foi colocada uma objeção, referente ao cabo do sensor que atrapalharia o deslocamento dos eletricitistas, que quando escalam a linha de transmissão para fazer a manutenção apoiam-se e circulam na plataforma da chave. Além do mais durante a instalação do sensor, o cabo deste rompeu sem que este tivesse sido exposto a uma tração intensa, o que foi conclusivo para não empregar este sensor na instalação.

### III. SUPERVISÃO ATRAVÉS DO PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Uma das soluções propostas neste projeto foi a automação da supervisão do estado da chave (aberta/fechada) através do processamento de imagens da chave capturadas no instante da manobra por câmeras digitais.

Durante o desenvolvimento do projeto ficou claro que havia uma dificuldade prática de se conseguir as imagens das chaves abertas e fechadas sob variadas condições de iluminação e condições climáticas, além do mais as chaves não podem ser abertas ou fechadas a qualquer momento, e exigem agendamento prévio junto a AES-Eletropaulo. Sendo

assim, não foi utilizada a abordagem clássica de aprendizagem de máquina, que exige um número grande de imagens de treinamento. Foi procurado desenvolver um aplicativo que exigisse o menor número possível de imagens de referência, mesmo que necessite de mais intervenção do usuário.

A solução encontrada para atender as especificações apresentadas foi utilizar as imagens máscaras que fornecem ao aplicativo os contornos das chaves abertas e fechadas. As máscaras indicam as regiões com grande magnitude de gradiente, geradas pela transição entre chave e fundo. As máscaras devem ser editadas semi-manualmente pelo usuário.

Estas máscaras são comparadas com as imagens obtidas pela câmera digital, e através de um algoritmo desenvolvido é indicado o estado da chave, aberta ou fechada, mesmo que as condições de iluminação entre a imagem de referência e a analisada sejam diferentes.

#### A. Especificação do aplicativo

Quando fornecida a imagem que deverá ser analisada, que poderá ser no formato JPG, com a visão das chaves seccionadoras fotografadas do mesmo ponto de vista que as imagens de referência. O software deverá indicar o estado (aberto ou fechado) de cada uma das chaves analisadas da imagem. Eventualmente, o programa poderá indicar um estado de indeterminação quando não conseguir identificar claramente o estado das chaves. O software poderá ser aplicado a chaves seccionadoras de qualquer modelo, podendo ser horizontais ou verticais.

Espera-se que o software seja robusto às mudanças de condições de iluminação e meteorológicas, mesmo que essas condições não estejam explicitamente contidas nas imagens de referência. Isto é, o software deverá reconhecer corretamente o estado das chaves num dia nublado mesmo que as imagens de exemplo sejam todas de um dia ensolarado.

Para cada imagem exemplo deverá ser gerada uma máscara desta imagem, as máscaras denotam em cores vivas o contorno das chaves (nas mesmas imagens de exemplo) e deverão ser editadas semi-manualmente. Para fins de análise do software, além do estado da chave e do tempo de execução do software em segundos, serão fornecidos indicadores de quanto o software tem certeza da sua conclusão final. Os indicadores indicam o grau de semelhança com as imagens amostras das chaves abertas e fechadas. Esses números poderão ir de -100 (correlação negativa) a +100 (correlação positiva). Um número próximo de zero indica que não há semelhança, enquanto que um número próximo de 100 indica que há uma grande semelhança entre a imagem amostra e a imagem testada. Uma instância negativa, isto é, escuro e claro trocados, também gera correlação positiva.

Para o monitoramento por imagem as chaves devem ser visíveis tanto quando aberta quanto fechada. Quanto mais contrastar a cor das chaves com o fundo melhor, a pinturas das chaves pode melhorar o desempenho do sistema em



condições de visibilidade piorada.

Ao aplicativo deverão ser fornecidas previamente quatro imagens de referência da chave a ser analisada, conforme as seguintes condições:

TABELA I  
IMAGENS DE REFERÊNCIA

Estado	Condição
Chave Aberta	Imagem de referência sob condição de iluminação boa, em torno das 12:00.
Chave Aberta	Imagem de referência sob condição de iluminação reduzida, ao entardecer.
Chave Fechada	Imagem de referência sob condição de iluminação boa, em torno das 12:00.
Chave Fechada	Imagem de referência sob condição de iluminação reduzida, ao entardecer

### B. Algoritmo do processamento de imagens

A solução encontrada para atender as especificações apresentadas foi utilizar as imagens máscaras que fornecem ao aplicativo os contornos das chaves abertas e fechadas. As máscaras indicam as regiões com grande magnitude de gradiente, geradas pela transição entre chave e fundo. As máscaras devem ser editadas semi-manualmente pelo usuário. Para esta finalidade foi desenvolvido um subprograma detector de arestas que auxilia o usuário nesta tarefa.

Uma máscara deve ser salva num formato de imagem sem perdas (não pode ser salva como JPG ou JP2), pois o software entende como máscara um contorno de pixels com cores completamente puras, como por exemplo (255,0,0) que indica vermelho. Se JPG distorcer o valor desse pixel para, por exemplo, (254,0,1), o programa não mais o entenderá como uma máscara. Usando as máscaras fornecidas pelo usuário, como por exemplo a exibida na Fig.4, o sistema não irá prestar atenção nas sombras, mudanças de brilho e contraste, e ruídos de fundo que podem aparecer. O sistema calcula o Histograma de Gradiente Orientado (HOG) nos pixels da máscara e da imagem capturada. Comparando esses HOG's, decide se a imagem capturada é mais parecida com a imagem de chave aberta ou fechada.



Fig. 4. Exemplo de máscara produzida para uma imagem da chave fechada, em um teste realizado com uma chave no solo.

Para a realização deste aplicativo os principais parâmetros calculados, que são utilizados nas análises das imagens são: gradiente de uma imagem colorida, histograma de gradiente orientado (HOG) num pixel, histograma de gradiente orientado (HOG) numa janela e comparação de semelhança entre dois HOG's definidos numa janela.

O gradiente de uma função contínua  $f: R^2 \rightarrow R$  é definida em (1).

$$\nabla f(x, y) = \left[ \frac{\partial f(x, y)}{\partial x}, \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \right] \quad (1)$$

Evidentemente, para uma imagem discreta, a definição acima não pode ser aplicada diretamente. Assim, deve-se usar a sua versão discretizada. Normalmente, utiliza-se como gradiente de uma imagem discreta em níveis de cinzas  $G$  a definição indicada em (2).

$$\nabla G(x, y) = [G(x+1, y) - G(x-1, y), G(x, y+1) - G(x, y-1)]. \quad (2)$$

Não existe uma definição universalmente aceita para gradiente de uma imagem colorida. Porém, para a aplicação em questão, costuma-se calcular a gradiente de uma imagem colorida  $C$  num ponto  $(x, y)$  através das seguintes operações:

- Calcular o gradiente de  $C$  em  $(x, y)$  de forma independente para as bandas R, G, B, resultando em vetores  $\nabla C_R(x, y)$ ,  $\nabla C_G(x, y)$  e  $\nabla C_B(x, y)$ ;
- Calcular os módulos  $|\nabla C_R(x, y)|$ ,  $|\nabla C_G(x, y)|$  e  $|\nabla C_B(x, y)|$  e calcular a banda com o maior módulo;
- O gradiente  $C(x, y)$  é o gradiente da banda com o maior módulo. Isto é, se o maior gradiente no ponto  $(x, y)$  for a banda B,  $\nabla C(x, y) = \nabla C_B(x, y)$ .

Histograma de gradiente orientado (HOG) é usado para caracterizar a vizinhança de um ponto [1]. HOG pode ser "com sinal" ou "sem sinal". Com sinal considera gradientes com ângulos de 0 a 360 graus, sendo que neste caso, gradientes de 10 graus e 190 graus são considerados diferentes. Já o HOG sem sinal considera gradientes com ângulos de 0 a 180 graus, se o ângulo de um gradiente tiver ângulo maior que 180 graus, subtrai-se 180 para resultar num ângulo entre 0 e 180 graus. Neste caso, ângulo de 190 graus é considerado igual ao de 10 graus.

No presente sistema, foi usado HOG sem sinal, pois dependendo das condições de iluminação, a chave pode-se tornar mais escura ou mais clara que o fundo, podendo alterar o "sinal" do gradiente.

HOG sem sinal num pixel depende do seguinte parâmetro:

- Número de "bins" ou nBins: Indica em quantas faixas os ângulos dos gradientes serão divididos. Por

“default”, nBins=8,

- indicando que os gradientes serão separados em faixas de  $180/8 = 22,5$  graus. Isto é em intervalos  $[0; 22,5[$ ,  $[22,5; 45[$ ,  $[45; 67,5[$  ...  $[157,5; 180[$ .

Definindo-se HOG de  $C$  num pixel  $(x, y)$  como o vetor  $H_C(x, y)$  de nBins elementos. Para calcular  $H_C(x, y)$ , deve-se fazer as seguintes operações:

- Calcular o gradiente  $\nabla C(x, y)$ ;
- Seja  $|\nabla C(x, y)|$  e  $\angle[\nabla C(x, y)]$  o módulo e o ângulo do gradiente. Verificar a qual bin pertence o ângulo  $\angle[\nabla C(x, y)]$  do gradiente. Seja  $i$  o índice desse Bin;
- Todos os elementos de  $H_C(x, y)$  são zeros, exceto o  $i$ -ésimo elemento cujo valor é  $|\nabla C(x, y)|$ .

Histograma de gradiente orientado (HOG) num pixel caracteriza uma vizinhança muito pequena em torno de um pixel. HOG definido numa janela permite caracterizar uma vizinhança maior. HOG numa janela possui mais dois parâmetros:

- Tamanho da célula em linhas tCell: Quantas linhas terá uma célula de HOG. Inicialmente considerando-se tCell=5;
- Tamanho da célula em colunas tcCell: Quantas colunas terá uma célula de HOG. Inicialmente considerando-se tcCell=5.

Para calcular HOG  $H_{CW}(x, y)$  da imagem  $C$  dentro da janela  $W$  de tCell x tcCell pixels em torno de  $(x, y)$ , deve-se:

- Calcular o histograma  $H_C(u, v)$  de todos os pixels  $(u, v)$  da janela  $W$ .
- Somar, elemento a elemento, todos os vetores  $H_C(u, v)$ .

Conforme indicado na equação (3):

$$H_{CW}(x, y) = \sum_{(u,v) \in W} H_C(u, v). \quad (3)$$

Sejam  $x$  e  $y$  dois HOGs em janelas.  $x$  e  $y$  são vetores com nBins (tipicamente 8) elementos. Para obter comparação mais ou menos independente do brilho e contraste, usa-se a métrica SSIM (*Structural Similarity*), que permite calcular independentemente a semelhança de brilho, contraste e estrutura [2]. Para calcular SSIM, calcula-se:

- Semelhança de brilhos, conforme indicado na equação (4):

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \quad (4)$$

Onde  $\mu_x$  é a média do vetor  $x$  e  $C_1$  é um número pequeno, muito próximo de zero. Esta função calcula a diferença dos brilhos.

- Semelhança de contrastes, conforme indicado na equação (5):

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \quad (5)$$

Onde  $\sigma_x$  é o desvio-padrão do vetor  $x$  e  $C_2$  é um número pequeno, muito próximo de zero. Esta função calcula a diferença dos contrastes.

- Semelhança de estrutura, conforme indicado nas equações (6) e (7):

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} \quad (6)$$

Onde

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y) \quad (7)$$

A função  $s(x, y)$  calcula a correlação normalizada entre os vetores  $x$  e  $y$ .

- Por fim, SSIM é calculada em (8):

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha [c(x, y)]^\beta [s(x, y)]^\gamma \quad (8)$$

No aplicativo foi adotado, uso  $1,0 \alpha = \beta = 0,1$  e  $\gamma = 0,8$ . Isto torna o programa pouco sensível à mudança de brilho e contraste.

### C. Testes e avaliação do software

Os resultados obtidos a partir de ensaios em campo, com a primeira versão do algoritmo de identificação do estado das chaves seccionadoras, com uma chave seccionadora localizada no solo foram satisfatórios. Em todos os ensaios o algoritmo identificou corretamente o estado da chave, mesmo sob condições de iluminação diferentes das condições nas quais foram obtidas as imagens de referência.

Obviamente o índice de certeza do algoritmo é menor quando as condições de iluminação são bem diferentes das condições das imagens de referência. Por este motivo optou-se pelo uso de duas imagens de referência uma feita no período do meio-dia e outra ao fim da tarde (pior condição de iluminação), e de acordo com o horário da captura da imagem seriam escolhidas as referências mais próximas.

Durante os testes foram observados que alguns cuidados devem ser observados na aquisição das imagens:

- A câmera deve ter uma boa visão das chaves seccionadoras, possibilitando distinguir claramente a chave dos demais equipamentos que se encontram no ângulo de visão da câmera, e o estado (aberto ou fechado) da chave;
- Não é necessário pintar os braços das chaves, porém o reconhecimento será mais robusto se as chaves forem pintadas numa cor contrastante com as cores das imagens de fundo. Caso as chaves não sejam pintadas, provavelmente as chaves serão mais escuras das imagens de fundo de dia e mais claras à noite;
- Se a imagem de fundo for uniforme, o reconhecimento será mais robusto. Porém, mesmo que o fundo não seja uniforme (como o céu com nuvens que mudam com o tempo ou um fundo com partes de equipamentos visíveis que não mudam com o tempo), o reconhecimento será possível. Tendo céu como o fundo, um erro de reconhecimento poderá ocorrer numa situação (altamente improvável) em que a nuvem de fundo se agrupar em forma de uma chave seccionadora;
- À noite, deverá haver iluminação artificial para que o reconhecimento seja facilitado. O critério é que a intensidade da iluminação seja suficiente para a identificação do estado da chave pelo olho humano;
- O reconhecimento não será possível se, por exemplo: uma forte neblina impedir uma visão nítida das chaves, pingar gotas de chuva na lente da câmera, distorcendo a visão ou se a lente ficar embaçada com o orvalho ou depósito de fuligem.

#### IV. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos a partir de ensaios em campo, com a primeira versão do algoritmo de identificação do estado das chaves seccionadoras, com uma chave seccionadora localizada no solo foram satisfatórios. Em todos os ensaios o algoritmo identificou corretamente o estado da chave, mesmo sob condições de iluminação diferentes das condições nas quais foram obtidas as imagens de referência.

Obviamente o índice de certeza do algoritmo é menor quando as condições de iluminação são bem diferentes das condições das imagens de referência. Por este motivo optou-se pelo uso de duas imagens de referência uma feita no período do meio-dia e outra ao fim da tarde (pior condição de iluminação), e de acordo com o horário da captura da imagem seriam escolhidas as referências mais próximas.

Outra conclusão observada a partir das análises realizadas dos resultados obtidos é a de que é possível usar câmeras de menor resolução e de qualidade inferior (menor custo) sem que o desempenho do algoritmo seja afetado. Também foi verificado que com o uso de iluminação artificial os resultados não foram impactados.

No que se refere ao uso de sensores foi verificada a eficácia do uso das chaves de fim de curso e sensor magnético de posição angular, este último pode indicar a posição precisa, porém tem um custo que deve ser considerado para a utilização extensiva.

A utilização dos sensores ópticos mostrou-se uma solução tecnicamente viável, porém apresenta uma limitação no que se refere a autonomia das baterias dos módulos de comunicação wireless.

#### V. REFERÊNCIAS

- [1] Dalal, N. Triggs, B., "Histograms of Oriented Gradients for Human Detection", *IEEE Computer Society Conference On Computer Vision And Pattern Recognition*, vol. 1, pp. 886-893, 2005.
- [2] Zhou Wang, Alan Conrad Bovik, Hamid Rahim Sheikh, and Eero P. Simoncelli, "Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity", *IEEE T. Image Processing*, vol. 13, No. 4, pp. 600-612, April 2004.