


USO DO ALGORITMO SIFT PARA RECONHECIMENTO AUTOMÁTICO DE TATUAGENS

 <https://doi.org/10.56238/arev7n3-053>

Data de submissão: 05/02/2025

Data de publicação: 07/03/2025

Marcelo Musci

Doutor em Engenharia Elétrica
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ
E-mail: marcelo.musci@uerj.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8728-9078>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6728045154451354>

Giancarlo Cordeiro da Costa

Doutor em Mecânica Computacional
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ
E-mail: gian.costa@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-5319-2797>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3449975222463659>

Carlos Augusto Sicsú Ayres do Nascimento

Doutor em Computação de Alto Desempenho
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ
E-mail: carlos.nascimento@uerj.br
Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-4931-705X>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2079460829451430>

Flavio Lucas dos Santos Baptista

Graduado em Ciência da Computação
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ
E-mail: flavioBaptista1037@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-4576-8691>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5008360790746548>

Adriana Aparicio Sicsú Ayres do Nascimento

Doutora em Computação de Alto Desempenho
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ
E-mail: adriana.nascimento@uerj.br
Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-9292-6633>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2362137910359483>

Mauricio Quelhas Antolin

Doutor em Engenharia Nuclear
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ
E-mail: mauricio.antolin@uerj.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1887-1694>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5447436300899167>

Gisele Duarte Caboclo Antolin

Doutora em Ciências de Materiais

Instituto Militar de Engenharia - IME

E-mail: gisele.antolin@uerj.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0123-3183>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0318467707969652>

RESUMO

Este trabalho apresenta um sistema de reconhecimento de imagens de tatuagens de forma automática em um banco de dados, que pode vir a ser utilizado para ajudar na correta identificação de criminosos que possuam esse tipo de marca corporal, seu significado e a possível identificação de facções criminosas aos quais pertencem. A técnica de extração de parâmetros e reconhecimento de imagens é baseada no algoritmo Scale Invariant Feature Transform (SIFT). Este trabalho descreve os protocolos experimentais e casos de teste que devem ser seguidos e que irão permitir a comparação de desempenho consistente de métodos de reconhecimento de tatuagens.

Palavras-chave: SIFT. Tatuagens. Reconhecimento Automático.

1 INTRODUÇÃO

Tatuagens podem ser uma ferramenta muito útil para identificação de pessoas em aplicações criminais, sendo inclusive utilizadas para identificação de vítimas ou suspeitos usando identidades falsas. Seu uso tem sido mais difundido na atualidade, quando outros tipos de identificação biológicos, como impressões digitais, não estão disponíveis.

Para uso em identificação criminal, seu uso possibilita a obtenção de informações discriminatórias como grupo criminoso, religião, antecedentes criminais e outras.

Embora uma tatuagem por si só possa não ser suficiente para diferenciar entre dois indivíduos, pode ajudar a estreitar a identidade de suspeitos ou vítimas nas investigações. Uma tatuagem é uma opção e um traço biométrico que pode conter mais características discriminativas e recursos para identificação de pessoa do que a biometria suave tradicional, como idade, sexo, raça, altura e peso (Beauthier, 2011).

Além disso, tatuagens podem fornecer informações valiosas sobre as afiliações de um indivíduo ou crenças expressas e pode apoiar a verificação da identidade de um indivíduo.

Em desenvolvimento desde 2014, em um trabalho conjunto com o Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST), o FBI utiliza uma tecnologia, chamada apenas de “Tatt-C”, capaz não apenas de reconhecer tatuagens, mas também de identificar seu significado e com isso descobrir inclinações pessoais, políticas, sociais e até mesmo religiosas de um suspeito.

Embora algumas pesquisas tenham sido feitas na área de reconhecimento de tatuagens com base em imagens (Jain, Lee e Jin, 2007; Acton e Rossi, 2008; Allen, Zhao e Yuan, 2011; Manger, 2012; Heflin, Scheirer e Boulton, 2012; Duangphasuk e Kurutach, 2013), esse tipo de estudo ainda não é um produto consolidado na indústria e merece um estudo mais detalhado para o desenvolvimento de sistemas para aplicações governamentais de próxima geração.

A natureza operacional do problema proposto neste trabalho impõe desafios sobre as metodologias tradicionais de recuperação de imagens, dada a grande variação no ambiente e no processo de captura e no conteúdo e qualidade das tatuagens. São exemplos de tais desafios:

- Variação da iluminação e escala da imagem;
- Oclusões parciais de roupas e imagens de fundo com ruídos;
- Variações ao redor das tatuagens;
- Imagens mescladas ou várias tatuagens em uma única imagem;
- Orientação inconsistente da imagem (rotação e cisalhamento);
- Tatuagens extremamente desbotadas;
- Abstrações ambíguas ou desconhecidas.

Técnicas de reconhecimento de tatuagens, para uso de identificação criminal, são baseadas em fotografias e descrições resumidas, como o sistema ANSI/NIST-ITL, I-2007 (2016). Nesse sistema uma busca por tatuagens é feita de forma manual, através de palavras chaves inserida no contexto de cada tatuagem. Esse sistema tende a ser bastante rudimentar e lento na busca e identificação de tatuagens, pois depende de uma busca manual exaustiva. Sistemas de reconhecimento automático podem ser implementados de forma a facilitar esse trabalho.

Jain (2007) propôs um sistema de reconhecimento de imagens, baseado na extração de características visuais como cor textura e forma para identificação de imagens, que foi aperfeiçoado em Jain (2008) com a utilização de técnicas de invariância das características da imagem.

Como atualmente o número de pessoas que utilizam tatuagens é bastante significativo, principalmente entre criminosos, um sistema para determinar, tatuagens, de forma rápida e eficiente, se torna bastante promissor para a sociedade.

A ideia é que o sistema proposto possa identificar em cenas criminais, através de imagens de câmeras de segurança, possíveis tatuagens em pessoas que possam levar a sua identificação. Além de identificação de inclinações religiosas, políticas, pessoais e sociais, em tatuagens de criminosos, o que significa que o método desenvolvido não servirá como um simples banco de dados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 BANCO DE DADOS

Em primeiro lugar foi construído um banco de dados para teste do sistema proposto. O uso de sites de mídia social como meio de dados da coleção foi utilizado para testar o sistema, além disso, as informações coletadas nas redes sociais são frequentemente usadas para identificar um indivíduo. Sendo esse um dos produtos provenientes deste trabalho, ou seja, a criação de um banco de dados disponível para testes, pois não se encontrou base de dados pública para testes. Embora previsto em lei no Brasil pela Lei 12.037/09, a única notícia de criação de uma base de dados encontrada foi do Sistema Phoenix da Secretaria de Segurança Pública de São Paulo (Grosso, 2021).

O banco de tatuagens tem como objetivo guardar as tatuagens de criminosos que teriam fotos tiradas de suas tatuagens em sua primeira passagem pela polícia. Dessa forma na investigação de um crime, quando fosse possível identificar uma tatuagem no criminoso, por meio de uma câmera de vigilância por exemplo. Essa imagem seria usada na busca de um criminoso reincidente no banco. Portanto essas duas imagens teriam, em sua maioria, grandes diferenças de iluminação, escala e principalmente ângulo de visão.

De acordo com Lordelo (2018), as tatuagens, além de apontar traços de personalidade, podem ter diversas informações, tais como:

- Qual crime tem o hábito de praticar
- Grau de periculosidade
- Se já esteve preso
- Qual facção criminosa pertence
- Demonstração de poder ou hierarquia

Assim, foi construído um banco de dados de tatuagens, contendo inicialmente 2500 imagens, com foco em tipos de tatuagens elencados em Lordelo (2018), que define as tatuagens utilizadas no mundo do crime.

O banco de dados (contendo 2500 imagens), que é um dos produtos provenientes deste trabalho, está disponível no GitLab, em: <https://gitlab.com/tattoo-uerj/reconhecimento-de-tatuagens/-/tree/main>.

2.2 ALGORITMO SIFT

As características das imagens foram obtidas com a utilização do algoritmo *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT) que extrai pontos-chave, denominados *keypoints*, da imagem em análise e gera descritores sobre esses pontos que descrevem a textura ao seu redor. Esses pontos-chave são invariantes a escala e rotação da imagem e suficientemente robustos quanto a distorções, ângulo de visão e ruídos. O trabalho proposto por Jain (2008) utiliza o mesmo algoritmo para extração de características, obtendo excelentes resultados.

O algoritmo SIFT corresponde a uma técnica que permite extrair as características distintivas de imagens, sendo bastante usado para o reconhecimento e classificação de objetos em diferentes pontos de vista. Neste caso, verificamos que as características extraídas são invariantes em relação à escala e orientação da imagem.

O processo de extração de características passa por quatro fases. A primeira corresponde à fase onde são detectadas as localizações de possíveis pontos de interesse invariantes à escala e orientação. Consistindo em se detectar extremos (máximos e mínimos) em uma pirâmide da imagem convoluída com a função Diferença de Gaussiana (DoG - *Difference of Gaussian*). Pontos chave correspondem a estes extremos para diferentes escalas.

Um filtro Gaussiano passa baixa é dado pela convolução de uma imagem I com a função G :

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y) \quad (1)$$

Onde:

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \quad (2)$$

A função DoG é dada pela diferença de imagens filtradas em escalas próximas separadas por uma constante k . O resultado de se fazer a convolução de uma imagem com o filtro DoG é dado por:

$$D(x, y, \sigma) = (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) * I(x, y) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \quad (3)$$

ou seja, é a diferença entre imagens borradas por um filtro gaussiano em escalas σ e $k\sigma$. Este filtro consegue detectar variações de intensidade na imagem, tais como contornos. Variando-se o σ , é possível encontrar descritores para variações em diferentes escalas espaciais. Lowe (2004) considera que é necessário fazer a convolução da imagem até 2σ para ser possível a construção de descritores invariáveis à escala. Ao conjunto DoG e as imagens suavizadas é dado o nome de oitava.

Nesse trabalho foram utilizados os parâmetros padrão descritos por Lowe na utilização do SIFT, como número de oitavas e intervalos.

Na segunda fase, os pontos candidatos detectados anteriormente são examinados com maior detalhe e filtrados. Neste caso, é analisada com mais detalhe a informação dos vizinhos e um modelo é ajustado de modo a determinar corretamente a localização e escala. Com esta informação são descartados os pontos com baixo contraste e que desta forma são sensíveis ao ruído.

Na fase seguinte é definida uma orientação a cada ponto-chave. Neste caso, todas as propriedades do ponto-chave são medidas relativamente à orientação deste, possibilitando, assim, que estas sejam invariantes em relação à rotação.

O último passo consiste no cálculo de um descritor associado a cada um dos pontos chave. Este descritor corresponde a um vetor de tamanho fixo que é normalizado de forma a ser invariante em relação a mudanças de iluminação, a Figura 1 mostra uma imagem e seus pontos-chaves extraídos pela utilização do SIFT.

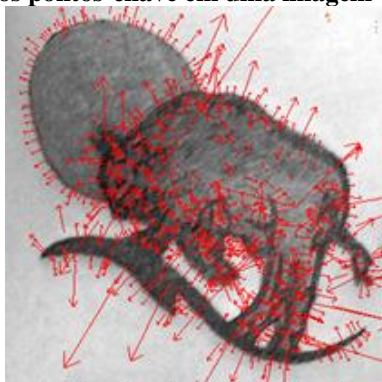
Assim, com base nos descritores extraídos, é possível realizar a correspondência entre duas imagens.

O processo de comparação de duas imagens torna-se uma comparação de pontos-chave baseada em seus descritores.

O melhor candidato para cada ponto-chave é encontrado através da identificação de seu vizinho mais próximo na imagem de referência, armazenada no banco de dados, que contém todos os pontos-chave de cada imagem a ser comparada. Os vizinhos mais próximos são definidos como os pontos-chave, com distância mínima euclidiana do vetor descritor dado. A probabilidade de que uma correspondência está correta pode ser determinada utilizando a relação de distância do vizinho mais próximo com a distância do segundo vizinho mais próximo.

No sistema proposto todas as correspondências em que a relação distância for superior a 0,8 serão rejeitadas, o que segundo Lowe (2004) elimina 90% das falsas correspondências enquanto descartando menos de 5% dos resultados corretos.

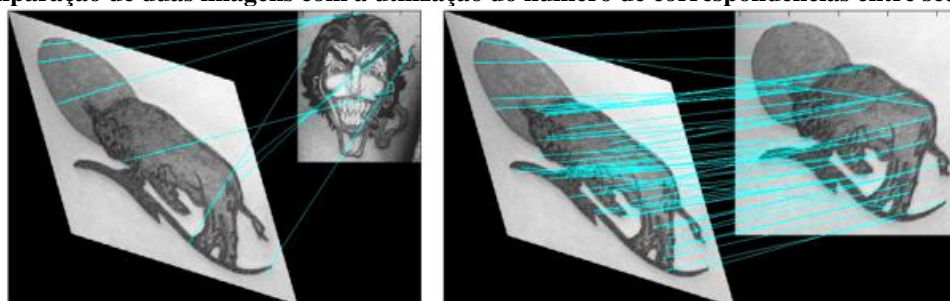
Figura 1 – Localização dos pontos-chave em uma imagem com a utilização do SIFT.



Fonte: Os autores, (2021).

A métrica utilizada para comparação entre as imagens é baseada no número de correspondências entre os pontos-chave das duas imagens em análise, conforme visto na Figura 2.

Figura 2 – comparação de duas imagens com a utilização do número de correspondências entre seus pontos-chave.



8 correspondências

50 correspondências

Fonte: Os autores, (2021).

Na comparação entre duas imagens podem ocorrer múltiplas correspondências entre pontos-chave distintos, que possivelmente levam a erros na busca correta da imagem, devido a geração de um número elevado de falsas correspondências em imagens distintas, isso pode ser especialmente notado em imagens muito distorcidas e com poucos pontos-chave. Neste projeto o algoritmo original SIFT foi modificado de forma a se eliminar essas múltiplas correspondências, aumentando assim a eficácia do sistema proposto.

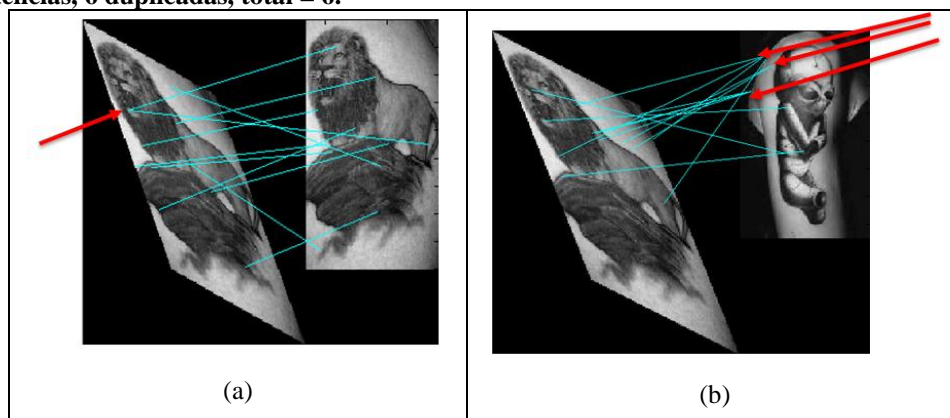
Na comparação entre duas imagens podem ocorrer múltiplas correspondências entre pontos-chave distintos, que possivelmente levam a erros na busca correta da imagem, devido a geração de um

número elevado de falsas correspondências em imagens distintas, isso pode ser especialmente notado em imagens muito distorcidas e com poucos pontos-chave.

Ao se eliminar essas múltiplas correspondências pode-se aprimorar a escolha correta da imagem.

Conforme pode ser visto na Figura 3(a), que apresenta uma imagem onde ocorrem onze correspondências, sendo uma duplicada e na imagem apresentada na Figura 3(b) ocorrem doze correspondências e seis duplicadas, a imagem a ser escolhida como certa seria a (b) - maior número de correspondências, porém com a eliminação das correspondências duplicadas consegue-se selecionar a imagem correta.

Figura 3 – Eliminação das correspondências múltiplas. Em (a) 11 correspondências, 1 duplicada, total = 10, em (b) 12 correspondências, 6 duplicadas, total = 6.



Fonte: Os autores, (2021).

3 METODOLOGIA

A caracterização de tatuagens é quase única, pois mesmo que duas pessoas tenham a mesma tatuagem, a unicidade de cada uma é praticamente garantida, pois são feitas a mão.

O sistema proposto é robusto o suficiente para desprezar pequenas variações na imagem pesquisada, fornecendo em sua resposta uma lista de tatuagens similares, em ordem decedente, encontradas no seu banco de dados, veja Figura 4, sendo a decisão final, quanto à similaridade, efetuada pelo elemento humano.

Figura 4 – Resultado esperado do sistema proposto.



Fonte: Os autores (2021).

O sistema proposto, para o reconhecimento automático de tatuagens, pode ser visto na Figura 5, onde são identificadas duas fases distintas no processo de criação:

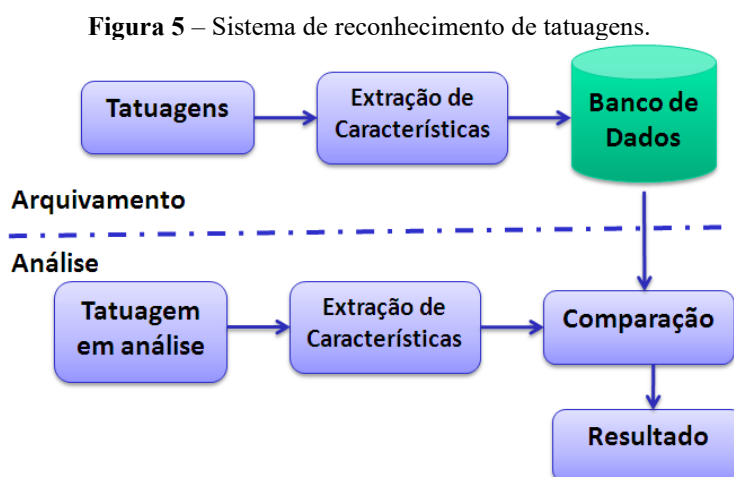
- Arquivamento: quando o banco de dados de características de imagens é criado;
- Análise: recupera a imagem, no banco de dados, mais similar à procurada.

Nas duas fases do sistema, características inerentes às imagens são extraídas para armazenagem e comparação.

No processo de análise das imagens, geralmente a imagem em foco pode apresentar várias diferenças, quando do seu processo de captura fotográfica, em relação à iluminação, ruídos e posição, devendo o sistema proposto obter um reconhecimento que seja robusto o suficiente quanto a essas diversas variações nas imagens em análise. Para atingir esse objetivo o método de extração de características das imagens utilizado deve ser robusto o suficiente para proporcionar uma boa acurácia. Além disso, informações adicionais (metadados) como tipo de tatuagem, proprietário, facção criminosa, significado e muitos outros podem ser adicionados.

As características das imagens serão obtidas com a utilização do algoritmo SIFT, que extrai pontos-chave, denominados keypoints da imagem em análise e gera descritores sobre esses pontos que descrevem a textura ao seu redor. Esses pontos-chave são invariantes a escala e rotação da imagem e suficientemente robustos quanto a distorções, ângulo de visão e ruídos.

O algoritmo de busca então percorre o banco de dados efetuando uma comparação com o descritor da imagem que se quer procurar. Em cada comparação o número de pontos característicos comuns é guardado, ao final do algoritmo é gerado um ranking das imagens mais semelhantes de acordo com o número de pontos característicos encontrados.



Fonte – Os Autores (2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o teste do sistema proposto, diversas alterações nas imagens originais foram realizadas por intermédio de transformações como: borramento, alteração na luminosidade, rotação, escala e cisalhamento.

Foram selecionadas de forma aleatória 500 imagens do banco de dados descrito anteriormente, recortes manuais foram feitos para isolar as tatuagens e a seguir aplicadas as cinco transformações, gerando assim 2500 imagens para teste inicial do sistema.

As operações realizadas podem ser visualizadas na Figura 6, que mostra diferentes imagens pertencentes a mesma classe.

Foram utilizadas 500 imagens diferentes de tatuagens do banco de dados e cada uma delas gerou cinco diferentes variações por intermédio de transformações de borramento, alteração na luminosidade, escala, rotação e cisalhamento, gerando assim 2500 imagens de teste, que serão comparadas as 500 imagens originais.

Para avaliação da performance do sistema proposto foi utilizada uma métrica de distância denominada rank, onde para cada tatuagem corretamente identificada recebe o rótulo de rank-1, se a tatuagem for a segunda melhor opção identificada pelo sistema, ela recebe o rótulo de rank-2 e assim sucessivamente até o máximo de rank-500, recebendo então a pior identificação.

No teste das 2500 imagens, foi obtida uma performance de 99,65% em rank-1. O gráfico de desempenho é mostrado na Figura 7.

Figura 6 – Operações realizadas nas imagens para teste do sistema proposto.



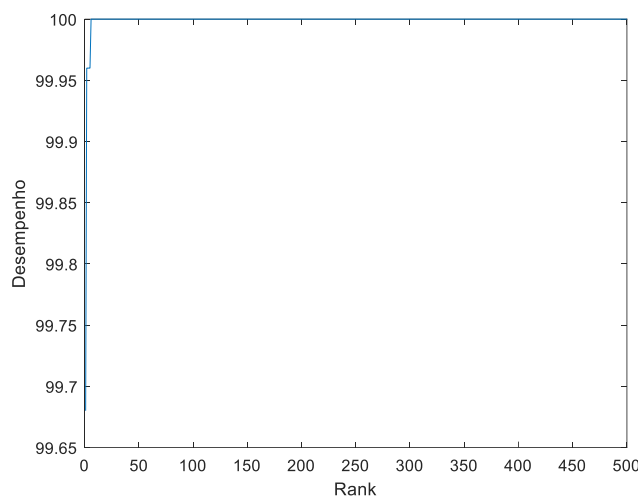
Fonte: Os Autores (2021).

No teste das 2500 imagens, foi obtida uma performance de 99,65% em rank-1. O gráfico de desempenho é mostrado na Figura 7.

O tempo de execução do sistema, para análise das 2500 tatuagens foi de aproximadamente 7 horas, utilizando uma máquina Intel Server com processador Core i9 7920X, 12 cores de processamento, memória de 128GB/DDR4/2666GHz Hyper X e placa de vídeo Nvidia GeForce RTX2080/11GB, sem a utilização de multiprocessamento, utilizando o software Matlab (R2022a). O tempo médio para identificação de cada tatuagem foi de aproximadamente 10 segundos.

Como conclusão, os valores reportados de desempenho mostram que o sistema baseado no algoritmo de SIFT, com as devidas modificações, apresentou excelentes resultados, 99,65% de acerto das imagens utilizadas.

Figura 7 – Desempenho do sistema.



Fonte: Os Autores (2021).

5 CONCLUSÃO

Os valores reportados de desempenho mostram que o sistema baseado no algoritmo de SIFT, com as devidas modificações, apresenta excelentes resultados, 99,65% de acerto das imagens utilizadas. Podendo ser utilizado, com algumas implementações, para a aplicação a que se destina, ou seja, identificação de criminosos por intermédio de suas tatuagens.

O tempo relativamente longo para identificação das tatuagens pode ser reduzido com a codificação do sistema em linguagem compilada, como C por exemplo.

Por fim., o desenvolvimento do sistema pode evoluir de modo a permitir a identificação de criminosos por câmeras de controle urbano ou pelo uso de drones, minimizando o confronto armado e fortalecendo a inteligência da polícia para o monitoramento e/ou localização de criminosos pelo uso de tatuagens. Ao contrário de cor e corte de cabelo, uso de barba ou bigode, as tatuagens se mantêm íntegras de modo a se prestarem à identificação de pessoas em diferentes situações. O desenvolvimento de um sistema de reconhecimento de tatuagens por imagens que seja robusto frente às variações ambientais traz um diferencial ímpar para a Ciência Forense do estado do Rio de Janeiro e em nível nacional como instrumento que permite ações pacíficas e eficientes no controle da violência urbana.

AGRADECIMENTOS

Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) – PROGRAMA APOIO A PROJETOS DE INOVAÇÃO DASEGURANÇA PÚBLICA - CIÊNCIAS FORENSES 2021 (E_13/2021).

REFERÊNCIAS

- ACTON, S. T.; ROSSI, A. Matching and retrieval of tattoo images: Active contour CBIR and global image features. In: 2008 IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation. IEEE, 2008. p. 21–24. DOI: <https://doi.org/10.1109/SSIAI.2008.4512275>.
- ALLEN, J. D.; ZHAO, N.; YUAN, J.; LIU, X. Unsupervised tattoo segmentation combining bottom-up and top-down cues. In: SPIE 8063: Mobile Multimedia/Image Processing, Security, and Applications. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.884368>.
- ANSI/NIST-ITL 1-2011: Update 2016. NIST Special Publication 500-290e3: Data Format for the Interchange of Fingerprint, Facial & Other Biometric Information. National Institute of Standards and Technology, 2015. DOI: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.500-290e3>.
- BEAUTHIER, J. P.; LEFEVRE, P.; VALCK, E. D. Autopsy and identification techniques. In: MÖRNER, N.-A. (ed.). The Tsunami Threat – Research and Technology. London: InTech, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5772/13610>.
- DUANGPHASUK, P.; KURUTACH, W. Tattoo skin detection and segmentation using image negative method. In: 13th International Symposium on Communications and Information Technologies. IEEE, 2013. p. 354–359. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISCIT.2013.6645881>.
- GROSSO, E. L. A tecnologia à disposição da Polícia Judiciária. [online], 2012. Disponível em: <http://www.conteudojuridico.com.br/consulta/Artigos/27992/a-tecnologia-a-disposicao-da-policia-judiciaria>.
- HEFLIN, B.; SCHEIRER, W. J.; BOULT, T. E. Detecting and classifying scars, marks, and tattoos found in the wild. In: BTAS '12: IEEE Sixth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems. IEEE, 2012. p. 31–38. DOI: <https://doi.org/10.1109/BTAS.2012.6374555>
- JAIN, A. K.; LEE, J. E.; JIN, R. Tattoo-ID: automatic tattoo image retrieval for suspect and victim identification. In: PCM '07: Proceedings of the Pacific-Rim Conference on Multimedia, 2007. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-77255-2_28.
- LEE, J.; JAIN, A.; JIN, R. Scars, marks and tattoos (SMT): Soft biometric for suspect and victim identification. In: 2008 Biometrics Symposium. IEEE, 2008. p. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1109/BSYM.2008.4655515>.
- LORDELO, J. O significado das tatuagens no mundo do crime e nos presídios. Lordelo Treinamento. Disponível em: <https://lordelotreinamento.com.br/2018/03/05/o-significado-das-tatuagens-no-mundo-do-crime-e-nos-presidios/>.
- LOWE, D. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. International Journal of Computer Vision, v. 60, n. 2, p. 91-110, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1023/B%3AVISI.0000029664.99615.94>.
- MANGER, D. Large-scale tattoo image retrieval. In: Conference on Computer and Robot Vision. IEEE, 2012. p. 454–459. Disponível em: <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/76604e42-93cc-482a-a113-2fea0171218a/content>.