

IDENTIFICAÇÃO DE PLACAS DE VEÍCULOS USANDO UMA TÉCNICA SINTÁTICA

Airton Marco Polidório* e Díbio Leandro Borges⁺

RESUMO. Este artigo propõe um método para reconhecimento automático de caracteres aplicados, para identificar números de placas de veículos em um sistema de visão computacional. Para solucionar o problema, foi desenvolvida uma técnica sintática que une dois conjuntos de atributos, através de dois conjuntos de regras sintáticas. Os conjuntos dos atributos e das regras são detalhados neste artigo.

Palavras-chave: atributos gráficos, reconhecimento de padrões, técnica sintática.

LICENSE PLATE IDENTIFICATION USING A SYNTACTIC TECHNIQUE

ABSTRACT. This study proposes a method to recognize automatically characters used to identify the numbers of license plates through a computer vision system. A syntactic technique joining two sets of attributes through two groups of syntactic rules was developed to solve the problem. Both sets of attributes and rules are here described.

Key words: graphic attributes, pattern recognition, syntactic techniques.

INTRODUÇÃO

Com o aumento de veículos, que trafegam nas ruas das cidades e rodovias, fiscalizá-los está mais difícil. Objetivando um maior poder de fiscalização, foram instalados em várias cidades do Brasil dispositivos eletrônicos usados, para relatar infrações de excesso de velocidade e

* Departamento de Informática, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, Câmpus Universitário, 87020-900, Maringá-Paraná, Brasil. E-mail: ampolido@din.uem.br

⁺ Escola de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Goiás, Praça Universitária S/N, 74605-220, Goiânia-Goiás, Brasil. E-mail: dibio@eee.ufg.br

Correspondência para Airton Marco Polidório

Data de recebimento: 04/09/97

Data de aceite: 28/11/97

avanço de sinal vermelho. Esses dispositivos são, basicamente, formados por um aparelho ótico e por sensores de distância.

O processo de reconhecimento da placa do veículo infrator é feito manualmente por pessoas que analisam as imagens. Recentemente, em um único ponto da cidade de São Paulo, um desses “guardas eletrônicos” aplicou 2.200 multas em quinze dias de funcionamento (Pinho, 1996). Nessas circunstâncias, pesquisar uma solução automática, baseada em visão por computador, para o problema de identificação de placas torna-se importante, também do ponto de vista prático.

Pesquisas em reconhecimento automático de caracteres alfanuméricos que compõem a placa de um veículo (Polidório e Borges, 1996), (Cowell, 1995) e (Nijhuis *et al.*, 1995), através de processamento de imagens, remontam ao início da década de 70, quando foram desenvolvidos os primeiros protótipos. Entretanto, sistemas comerciais começaram a ficar disponíveis somente a partir do início da década de 80.

Essa ferramenta automática deve resolver três problemas para justificar o seu uso:

1. localizar a placa do veículo;
2. segmentar os caracteres da placa em relação ao seu fundo;
3. reconhecer esses caracteres segmentados da placa os quais, identificam a placa do veículo infrator.

Em adição ao que deve ser resolvido, essa ferramenta deve obedecer às seguintes pré-condições:

1. resolver os problemas relatados anteriormente rapidamente;
2. produzir resultados com alto grau de confiabilidade;
3. ter elevada taxa de reconhecimento positivo;
4. e exigir a mínima interferência humana.

Um sistema automático de reconhecimento de caracteres aplicado à identificação de placas de veículos, para funcionar satisfatoriamente, deve contornar uma série de problemas. (Nijhuis *et al.*, 1995), com muita propriedade, relata os elementos que tornam a solução do problema em questão em algo não trivial. Entre esses elementos destacam-se:

1. a elevada complexidade da imagem, tanto do seu fundo como do objeto de interesse;
2. a resolução limitada dos caracteres nas imagens (Figura 1);
3. a sujeira (pó, lama etc.) aderida à placa, (Figura 1) e;

4. os parafusos e buracos usados para fixar a placa ao veículo que, freqüentemente, conectam-se aos caracteres.



Figura 1. Exemplos dos diferentes agentes naturais que dificultam o processo de segmentação dos caracteres. Todas as imagens são de placas com fundo cinza e caracteres em preto. (a)-(b) sujeira; (c)-(d) reflexo; (e) iluminação natural alta; (f) iluminação natural parcial; (g) iluminação natural baixa; (h) efeito borrão.

Além de resolver os problemas normais inerentes à aquisição das imagens (iluminação, sujeira etc.), ainda deve-se contornar os problemas de padronização das placas previstas na atual legislação que regula o trânsito de veículos no Brasil. Os padrões de placas aceitos pela atual legislação brasileira são (Figura 2):

1. as placas com fundo cinza contendo sete caracteres em preto, usadas em veículos de particulares (Figura 2-a);
2. as placas com fundo branco contendo sete caracteres em preto, usadas em veículos oficiais (polícias, prefeituras etc.) (Figura 2-b);
3. as placas de fundo branco contendo sete caracteres em vermelho, usadas em automóveis de auto-escolas (Figura 2-c);
4. as placas de fundo vermelho, contendo sete caracteres em branco, usadas em veículos de aluguel (caminhões, ônibus, táxis etc.) (Figura 2-d);
5. as de fundo verde, contendo caracteres em branco, usadas em veículos em testes (oficinas mecânicas) (Figura 2-e);

6. e por fim, as placas com fundo amarelo, contendo seis caracteres em preto (legislação antiga de trânsito) (Figura 2-f).

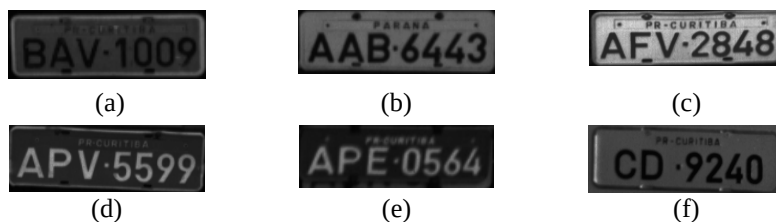


Figura 2. Exemplos dos diferentes padrões de placas que devem ser considerados no processo de segmentação dos caracteres.

Este trabalho descreve um sistema de reconhecimento sintático de caracteres alfanuméricos aplicado a este tipo de problema. Nas próximas seções deste trabalho, serão abordados elementos de reconhecimento de padrões por técnica sintática, enfatizando as soluções propostas em (Cowell, 1995) e em (Nijhuis *et al.*, 1995), apresenta-se uma nova proposta de solução para o problema, além de buscar-se alternativas para resolver/contornar os problemas já relatados objetivando minimizar o esforço computacional.

O USO DE TÉCNICAS SINTÁTICAS EM RECONHECIMENTO DE PADRÕES

As duas aproximações mais usadas em reconhecimento de padrões são as aproximações estatísticas (ou teorias de decisão) e as sintáticas (ou estruturais). Recentemente, redes neurais artificiais estão provendo uma terceira forma de aproximação.

O objetivo dessas técnicas é distinguir tipos de padrões que são constituídos de diferentes características. Essas características podem ter um conceito geométrico ou um valor numérico associado. As técnicas mais empregadas usam o conceito de similaridade de padrões, onde um padrão é identificado como sendo x , se as características extraídas dele coincidirem o mais próximo possível das características de x .

Um sistema básico de reconhecimento de padrões é formado por um sensor de aquisição (por exemplo, uma câmera), um mecanismo de extração de características, e um algoritmo de descrição ou classificação. Dependendo do tipo de aproximação usada, também é necessário um

conjunto de padrões altamente representativo, chamado de conjunto de treinamento, o qual deve prover informações significativas sobre como associar dados de entrada com uma decisão na saída, habilitando o sistema a aprender para decidir, principalmente, nas técnicas estatísticas e baseadas em redes neurais. No caso das técnicas sintáticas, o treinamento é usado para aprender ou inferir gramáticas.

A dificuldade maior em sistemas de reconhecimento de padrões está em determinar o conjunto de características, ou atributos, passíveis de extração, ou seja, quais primitivas devem ser buscadas em um padrão para viabilizar a sua descrição ou classificação, associando o dado de entrada com uma ou mais classes pré-especificadas, com base na extração de atributos significativos, através do processamento e/ou análises desses atributos. Observa-se que um significativo esforço computacional é necessário para extrair os atributos desejados de um padrão e assim mesmo, podem ser obtidos com erros e/ou ruídos tornando mais difícil o reconhecimento do padrão.

Em muitos casos, a informação significativa em um padrão não é baseada na presença ou ausência de valores numéricos como conjunto de características, como exemplo, as características podem ter um conceito geométrico e ainda, resguardar relações geométricas espaciais entre elas.

Os inter-relacionamentos ou interconexões das características produzem importantes informações estruturais, as quais facilitam a descrição ou a classificação estrutural. Esta é a base do reconhecimento de padrões por técnicas sintáticas (ou estruturais). Entretanto, neste tipo de aproximação deve-se estar apto para qualificar e extrair a informação estrutural, e avaliar as similaridades estruturais dos padrões.

As aproximações sintáticas servem para relatar as estruturas dos padrões, através da construção de sentenças, as quais são construídas usando regras sintáticas formalizadas numa determinada linguagem, numa ordem pré-estabelecida que possibilita explorar e capitalizar o corpo de conhecimento relatado para o padrão e suas análises, relatando se padrões de entrada (*string*) são sintaticamente bem formados no contexto de uma ou mais gramáticas (*parsing*).

Tipicamente, as técnicas sintáticas formulam descrições hierárquicas de padrões complexos através de padrões mais simples. No estágio inicial, conjuntos de subpadrões ou blocos construtores, chamados de elementos primitivos, são extraídos dos dados de entrada, e em estágios posteriores, os elementos extraídos são usados para montar sentenças que

obedecem a determinadas regras gramaticais e estas, são usadas para identificar o padrão.

O reconhecimento de padrões por técnicas sintáticas tem uma longa história de ativas pesquisas. Os conceitos de linguagens formais são especialmente usados, quando determinado padrão pode ser decomposto em padrões mais simples chamados de primitivas (Figura 3). De posse dessas primitivas, uma hierarquia pode ser modelada usando linguagens formais. Entretanto, um dos pré-requisitos para usar aproximações sintáticas é estabelecer de forma eficiente uma ordem para tratar os relacionamentos entre as primitivas de um padrão. Em muitos casos, isto não é uma tarefa trivial.

Algumas definições da teoria de linguagens formais podem ser descritos em torno dos seguintes elementos:

1. um alfabeto : qualquer conjunto, não vazio, finito de símbolos;
2. uma sentença de um alfabeto: qualquer cadeia de caracteres de tamanho finito composta de símbolos pertencentes ao alfabeto;
3. uma sentença sem símbolos: chamada de sentença vazia. A sentença vazia é denotada por S_0 . Para qualquer alfabeto V , denota-se por V^* o conjunto de todas as sentenças compostas com os símbolos de V , incluindo a sentença vazia. O símbolo V^+ denota o conjunto das sentenças formadas por $V^* - S_0$;
4. uma linguagem: qualquer conjunto, não necessariamente finito, de sentenças obtidas do alfabeto.

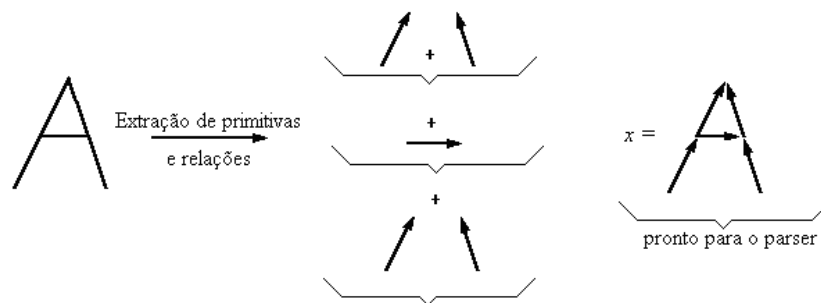


Figura 3. Exemplo de extração de primitivas e relações para aproximação sintática.

O foco de estudos da teoria de linguagens formais está na gramática e suas propriedades. Uma gramática é definida pela quádrupla da Equação 1.

$$G = (V_T, V_N, P, S) \quad (1)$$

onde,

- V_N é um conjunto de não-terminais (variáveis);
- V_T é um conjunto de terminais (constantes);
- P é um conjunto de produção ou regras para rescrever;
- S é o símbolo inicial ou símbolo raiz.

Assume-se que S pertence ao conjunto V_N e que V_N e V_T são conjuntos disjuntos. O alfabeto V é a união de V_N e V_T .

A união do conjunto de primitivas V_T , do conjunto dos símbolos não terminais, com o conjunto das regras de produção P e do símbolo inicial S formam a gramática G , representada pela Equação 1 (Fu, 1986), (Cowell, 1995) e (Tou e Gonzalez, 1974). Para definir uma gramática são necessários dois estágios: o primeiro é determinar quais elementos de um padrão constituem um nodo e o segundo, desenvolver operadores que sejam capazes de expressar os relacionamentos espaciais entre os nodos.

Os relacionamentos entre os nodos podem ser expressos formalmente através de uma gramática *Web* (Fu, 1982), a qual representa graficamente, através de um grafo, o padrão a ser identificado, onde os nodos são as primitivas extraídas do padrão. Neste tipo de gramática, as regras de formação são recursivas, e podem ser assim sintetizadas:

1. os nodos (exceto um) correspondem aos elementos de V_N (conjunto dos elementos não terminais), incluindo S (o elemento inicial). É, também, usado um nodo terminal T ;
2. um arco com origem no nodo A_i e destino para o nodo A_j , rotulado com o valor a existe para cada produção da forma $A_i \rightarrow aA_j$;
3. um arco com origem no nodo A_i para o nodo T , rotulado com o valor a , existe para cada produção da forma $A_i \rightarrow a$.

SOLUÇÕES CORRELATAS COM O PROBLEMA

Um dos principais trabalhos envolvendo o problema de reconhecimento de caracteres para identificação de placas de veículos é apresentado em (Cowell, 1995), o qual é fundamentado em técnicas sintáticas. Na gramática por ele descrita, existem quatro tipos de nodos (atributos): o tipo a representa um final de linha (Figura 4-a); o tipo b representa o encontro de duas linhas (Figura 4-b); o tipo c representa

uma mudança de direção de linhas em ângulo de 90° (Figura 4-c); e o tipo *d* representa o cruzamento de duas linhas (Figura 4-d).

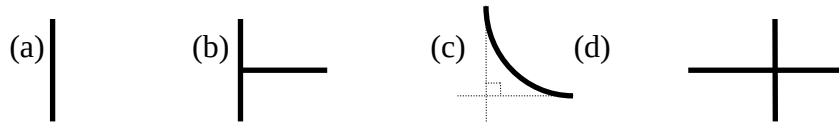


Figura 4. Tipos de nodos usados em (Cowell, 1995).

Existem também três tipos de operadores, os quais são usados para representar os tipos de relacionamentos espaciais entre os atributos de um padrão: o operador ‘-’ é usado para simples concatenação; o operador ‘&’ é usado quando uma linha se divide em duas e não se encontram novamente; e o operador ‘*’ usado para indicar a divisão de uma linha em duas, as quais se reencontram posteriormente.

O processo de geração de uma sentença da gramática é iniciado em um nodo do tipo *a*. Se não existe um, então, preferencialmente, um nodo tipo *b* é escolhido, caso contrário um nodo tipo *c* é escolhido. Se existir mais de um ponto de entrada (nodo inicial), cada um gera uma sentença para identificação do padrão.

Considere, como exemplo, o caractere ‘E’, Figura 5. Se o ponto inicial for 1 ou 3, a sentença formada será $a-c-b-((a)\&(c-a))$. Se for o ponto 2, a sentença será $a-b-((c-a)\&(c-a))$. Qualquer uma das sentenças identifica o caractere ‘E’.

A solução de (Cowell, 1995) independe da translação, da rotação e do tamanho dos caracteres a serem reconhecidos. Mas este fato, gera um problema: os caracteres {O(letra), 0(zero), D}, os caracteres {W, M, S}, os caracteres {C, U, N, Z, 7, J}, os caracteres {Y, T}, os caracteres {I, 1} e os caracteres {6, 9}, geram sentenças homônimas entre si. Para tentar resolver este problema, além da informação contextual, foram derivados do conjunto de atributos base, dois outros subconjuntos de atributos. Com isto, minimizou-se o problema dos conflitos mas, sem resolvê-los totalmente. Para garantir a solução completa, foi necessária a aplicação de métodos heurísticos. Segundo o autor, a taxa de reconhecimento do sistema é superior à 95%.

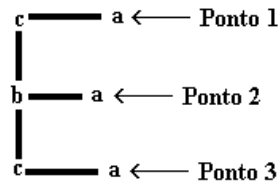


Figura 5 Os nodos do caractere 'E'.

Em (Cowell, 1995), os caracteres que compõem as placas dos veículos são identificados com a aplicação de técnicas sintáticas, explorando a existência de atributos gráficos, Figura 4, e o forte relacionamento espacial existente entre esses atributos em cada caractere particular. Entretanto, (Nijhuis *et al.*, 1995) preferem combinar diferentes técnicas para alcançar os resultados desejados.

As técnicas mescladas por (Nijhuis *et al.*, 1995) são baseadas em redes neurais artificiais e a aplicação de lógica *fuzzy*.

O sistema por eles proposto possui quatro partes: um pré-processador, o qual aplica algumas técnicas padrão de processamento de imagens, (correção de contraste, eliminação de ruídos etc.), para melhorar a qualidade da imagem.

A segunda parte do sistema, é uma unidade de segmentação usada, para determinar a posição da placa na imagem. Para segmentar a placa, os autores, usaram duas características: cor e textura. No caso deles, a placa era disponível em um único padrão, fundo amarelo e letras em preto. A segmentação da placa é feita por um algoritmo *fuzzy c-means clustering*, o qual foi devidamente treinado, e a função-decisão, ao realizar tal segmentação, deve decidir por uma entre duas classes: presença da placa e ausência da placa. No problema tratado neste trabalho, o uso da cor e da textura torna-se inviável por duas razões: 1) existem seis padrões de placas com cores diferentes; 2) as imagens disponíveis estão em níveis de cinza.

A terceira parte é formada pelo módulo reconhecedor, o qual funciona da seguinte forma: os componentes binários conectados resultantes da segmentação, e o que se espera serem os caracteres da placa, são usados como entradas para este módulo do sistema, para extração das características individuais de cada caractere e que permitirão o reconhecimento dos mesmos.

Dois diferentes tipos de redes neuronais são usadas para realizar o reconhecimento. Por meio de uma rede DTCNN (*discrete-time cellular neural networks*), geram-se quatro características: a projeção horizontal, a projeção vertical, os componentes conectados na direção horizontal, os componentes conectados na direção vertical, para cada caractere da placa.

Cada uma dessas características, são transformadas em outras cinco, gerando então, um total de vinte e quatro características, as quais servem como entrada para uma rede neuronal MLP-*neural network* (*multi-layer perceptron network*) com 24 neurônios na entrada, 15 neurônios na camada interna, e 36 neurônios na saída (uma saída para cada caractere possível).

Um caractere é tido como reconhecido, se o valor armazenado no neurônio de saída, correspondente ao caractere, exceder a 0,85 e todos os valores armazenados nos outros neurônios não exceder a 0,25, quando somados.

A quarta parte, é um analisador sintático dos resultados, usado para verificar a consistência sintática do mesmo. A informação contextual: as placas sempre são formadas por pares de caracteres de uma mesma classe, *i.e.*, letra-letra, ou número-número (ex. KD - 51 - BF), além de existirem certas combinações não permitidas por lei; permite que os resultados sejam analisados em uma etapa de pós-processamento.

Os resultados obtidos pelo módulo reconhecedor são fantásticos. A taxa de reconhecimento é de 98,51%, contra uma taxa de erro de 0,02% e uma taxa de rejeição de 1,47% do total de caracteres submetidos ao módulo reconhecedor. Entretanto, aproximadamente 25% das imagens submetidas não passam pelo segmentador e, portanto, não podem ser identificadas pelo sistema.

PROPOSTA DE UMA NOVA SOLUÇÃO

Neste trabalho, para gerar as sentenças sintáticas, são necessários dois conjuntos de atributos, um estrutural e o outro relativo à dimensão do caractere, e dois conjuntos de regras sintáticas, os quais servem para estabelecer os relacionamentos espaciais entre os atributos extraídos, e também, estabelecer regras para construir as sentenças sintáticas. Os conjuntos de atributos e de regras usados para gerar as sentenças, são descritos a seguir.

Os atributos do tipo traço

O primeiro conjunto de atributos busca relações entre as linhas que compõem cada caractere, a saber: finais de linha, junções em T, cruzamento de linhas e mudanças de direção em 90°. Este conjunto recebeu o nome de atributos do tipo traço.

Esse conjunto é o mesmo apresentado em (Cowell, 1995) com exceção do atributo tipo *c* (mudança de direção em 90°), o qual foi desmembrado em dois outros atributos. Aqui, faz-se distinção na forma de mudança de direção de 90° entre as linhas, isto é, em mudanças de direção de 90° bruscas como na letra L, por exemplo, tem-se um atributo do tipo *c*. Entretanto, em mudanças de direção de 90° suaves, da forma encontrada na letra J, tem-se um atributo do tipo *e*. Esta distinção, entre as formas de mudança de direção de 90° em bruscas e suaves, permite, por exemplo, diferenciar as letras D e O.

Desta forma, o conjunto de atributos do tipo traço fica, simbolicamente, definido da seguinte forma: $\{a, b, c, d, e\}$. Onde, o símbolo *a* representa os finais de linhas; o símbolo *b* representa as junções em T; o símbolo *c* representa mudanças de direção em 90° bruscas; o símbolo *d* representa os cruzamentos de linhas; e o símbolo *e* mudanças de direção em 90° suaves, (Figura 6).

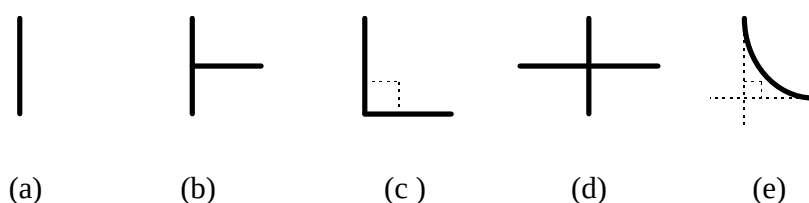


Figura 6. Conjunto de atributos do tipo traço. (a) tipo *a*; (b) tipo *b*; (c) tipo *c*; (d) tipo *d*; (e) tipo *e*.

Atributos do tipo posicional

O segundo grupo de atributos se refere à posição do atributo do tipo traço do caractere, e são denominados de atributos do tipo posicional (Polidório e Borges, 1996), os quais servem para determinar os relacionamentos espaciais entre os atributos do tipo traço de um caractere.

Os atributos do tipo posicional são determinados por uma grade com quatro quadrantes, numerados de 1 até 4, começando pelo quadrante superior esquerdo no sentido horário (Figura 7).

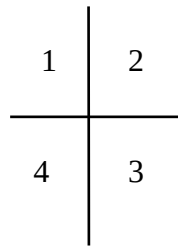


Figura 7. Quadrantes para determinação dos atributos do tipo posicional.

Para associar os atributos do tipo posicional com os atributos do tipo traço, a grade é encaixada sobre o caractere que está sendo processado, e assim, associa-se a cada atributo do tipo traço uma posição quadrante onde este atributo se encontra.

A grade que delimita os quadrantes tem orientação fixa, mas o posicionamento dos seus eixos é variável, dependendo unicamente das dimensões do caractere a ser processado.

Para encaixar a grade sobre o caractere, é necessário conhecer a altura (h) e a largura (l) do caractere, medidos em *pixels*.

A posição do eixo vertical da grade (P_v) é dada pela Equação 2, e do eixo horizontal (P_h) pela Equação 3.

$$P_v = \frac{l}{2} + offset_v \quad (2)$$

$$P_h = \frac{h}{2} + offset_h \quad (3)$$

onde, os valores *offset* significam o deslocamento dos eixos horizontal e vertical da grade em relação ao centro do caractere, e seus respectivos valores foram determinados, experimentalmente, como sendo: $0.1\ l$ para $offset_v$, e $0.1\ h$ para $offset_h$. Entretanto, convém salientar que os valores ótimos de *offsets* pertencem ao intervalo (0.1, 0.2), e que a faixa de variação possível desses valores pertencem ao intervalo (- 1/2, 1/2).

O uso dos valores *offset* nas Equações 2 e 3 são justificados pela não padronização dos caracteres que compõem diferentes placas. Na prática,

observou-se que é comum a diferença de proporcionalidade entre a altura e a largura dos caracteres em placas diferentes. Assim, os valores *offset* proporcionam um fator de segurança para tratamento desses casos.

Para aplicar essas equações, o caractere não pode ser muito estreito, como o I e o 1. Para estes casos, foi criada uma exceção: a posição do eixo vertical é dado por $l - 1$. Isto garante que as extremidades desses caracteres estejam sempre nos quadrantes 2 e 3, reduzindo o número de sentenças produzidas, causadas por pequenas rotações desses caracteres.

Regras sintáticas

Para determinar a posição quadrante dos atributos do tipo traço dos caracteres seguem-se as seguintes regras gerais:

1. os atributos do tipo traço posicionados no quadrante i pertencem ao quadrante i ;
2. o atributo do tipo traço posicionado sobre o cruzamento dos eixos da grade pertence a todos os quadrantes (1, 2, 3 e 4);
3. os atributos do tipo traço que estiverem sobre o eixo vertical da grade são considerados como pertencentes ao quadrante 2, se estiverem numa posição superior ao eixo horizontal ou, ao quadrante 3, se estiverem numa posição inferior ao eixo horizontal;
4. os atributos do tipo traço que estiverem sobre o eixo horizontal da grade são considerados como pertencentes ao quadrante 3, se estiverem à direita do eixo vertical ou, ao quadrante 4, se estiverem à esquerda do eixo vertical.

As sentenças usadas para identificar o caractere, serão formadas por concatenação, conectando-se os atributos do tipo posicional com os atributos do tipo traço. As regras para a concatenação são as seguintes:

1. a ordem dos atributos tipo posicional é 1, 2, 3 e 4, respectivamente;
2. como em um quadrante pode haver mais de um atributo do tipo traço, o primeiro caractere será o respectivo atributo do tipo posicional e após, todos os atributos do tipo traço pertencentes ao quadrante;
3. a ordem de concatenação dos atributos do tipo traço será a , b , c , d e e , respectivamente.

Uma restrição geral, que facilita o processamento, é adicionada aos conjuntos de regras citados anteriormente. Com base em observações práticas, verificou-se que caracteres que tinham atributos do tipo traço do tipo *b* e/ou *d*, {A, B, E, F, H, K, M, N, P, Q, R, T, X, Y, W} e {4, 6, 8, 9}, não geravam sentenças homônimas entre eles, caso fossem excluídos os atributos traço *c* e *e* de suas sentenças. Como as verificações de mudanças de direção de 90° são feitas de forma separada da verificação dos outros atributos, esta restrição permite um ganho de tempo no processamento de placas que tenham esses caracteres.

Como a grade é fixa em relação à rotação, para obter a independência da rotação do caractere, é necessário haver mais de uma sentença para poder identificá-lo, uma para cada posição de rotação. Considera-se como sendo “uma posição de rotação”, somente a rotação que provoca alterações nos relacionamentos entre os atributos do tipo traço e os atributos do tipo posicional do caractere (Figura 8).

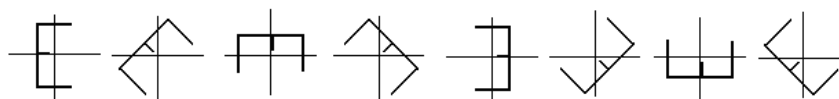


Figura 8. Exemplo de rotação com o caractere “E”.

Como exemplo, a Tabela 1 mostra as sentenças do caractere “E”, considerando as possíveis rotações de 45° do caractere na Figura 8.

Tabela 1. Exemplo de sentenças geradas pela rotação do caractere “E”, aplicando o método proposto, sem a avaliação dos atributos do tipo traço *c* e *e*.

Rotação	Sentença
0°	1ab2a3a4
45°	1ab2a34a
90°	12ab3a4a
135°	1a2ab3a4
180°	1a2ab34a
225°	12a3ab4a
270°	1a2a3ab4
315°	1a23a4ab

EXPERIMENTOS

Descrevem-se, a seguir as alternativas que permitem um tratamento computacional mais simples para contornar os problemas envolvidos no processo. Essas alternativas foram tomadas após intensas observações práticas.

a) Primeira Alternativa

Considerando os diversos padrões de placas, onde são usadas cores diferentes para pintar os fundos das placas e os interiores dos caracteres, verificou-se que, quando, as imagens são vistas em níveis de cinza, todos os tipos de placas podem ser separados em dois grupos: o grupo de placas com fundo claro e caracteres escuros; e o grupo de placas com fundo escuro e caracteres claros, produzindo um contraste razoável entre o fundo da placa e os caracteres.

Outra observação importante é a relação entre a área ocupada pelos caracteres e a área do fundo da placa. Independente do padrão de placa, espera-se que a área do fundo da placa seja muito superior à área ocupada pelos caracteres.

Considerando que sempre se espera uma significativa diferença de intensidade entre os *pixels* que formam os caracteres em relação aos *pixels* que formam o fundo da placa, não importando o tipo do padrão da placa, lança-se a seguinte alternativa:

- como a diferença de contraste entre os caracteres e o fundo da placa é significativa, existem medidas estatísticas simples que segmentam com qualidade os caracteres em relação ao fundo da placa.

Em adição à segunda alternativa, e considerando a relação entre a área ocupada pelos caracteres e a área do fundo da placa encontradas em cada tipo de padrão de placa, escreve-se:

- o mesmo segmentador de caracteres pode, através de medidas estatísticas simples, determinar o tipo do padrão de placa que está sendo processado, e assim, zelar pela qualidade e produzir resultados padronizados.

b) Segunda Alternativa

A segunda alternativa considera as causas naturais de interferência na qualidade dos dados (iluminação, chuva, sujeira etc.). Como o objeto

de interesse é a placa do veículo, esta hipótese considera a forma da ação do agente deteriorante natural em relação às dimensões do objeto, e é descrita da seguinte maneira:

- como as dimensões da placa são relativamente pequenas, espera-se que a influência dos agentes naturais ocorram de forma homogênea (ou bem próximo disto) por toda a superfície da placa. Assim, afirma-se que, quando esses elementos se manifestam em uma imagem, ele altera a intensidade dos *pixels* do fundo da placa e dos caracteres em proporções iguais.

c) Terceira Alternativa

A terceira alternativa considera os agentes que interferem na imagem dos caracteres inserindo ou removendo características. Esses agentes aparecem, quando os caracteres que compõem a placa do veículo se conectam com os buracos, ou parafusos, inferiores da placa, os quais são destinados para fixá-la ao pára-choques do veículo. Em grande parte dos casos, esses agentes inserem novas características no caractere. Já os agentes do tipo borrão removem características dos caracteres.

Esta alternativa estabelece uma medida de simplificação no processo de reconhecimento dos caracteres para tratar estes casos, e é escrita da seguinte forma:

- as conexões entre os caracteres e os parafusos inferiores usados na fixação da placa ao pára-choques dos veículos, podem modificar os atributos do tipo traço e posicional dos mesmos, fazendo com que as sentenças geradas pelos mesmos não sejam padronizadas. Porém, assume-se que as novas sentenças geradas pelas modificações dos respectivos atributos não geram sinônimos e portanto, estas são apenas sentenças alternativas e que devem assim serem tratadas pelo algoritmo reconhecedor. O mesmo se aplica aos casos em que existam a remoção de características.

d) Quarta Alternativa

A quarta alternativa visa ao tratamento de sentenças homônimas para caracteres de grafias diferentes. Apesar de ser uma alternativa geral, ela pode ser considerada uma exceção à terceira alternativa.

Através do treinamento, para geração das sentenças sintáticas, que identificam os caracteres, e dos testes realizados no sistema, verificou-se

que os homônimos podiam ser resolvidos, na maioria dos casos, simplesmente, buscando um novo relacionamento espacial entre os atributos, sem que houvesse a necessidade de reprocessamento do caractere imagem, que produziu a sentença homônima.

Os sinônimos que ocorreram no treinamento e testes do sistema formam uma base de dados separada daquela usada para o reconhecimento efetivo dos caracteres. Assim, toda a sentença que pertencer a esta base de dados pertence a um homônimo, significando que os seus atributos devem ser relacionados de outra forma, a qual é descrita a seguir:

- os atributos do tipo posicional são flexíveis e podem ser reavaliados em qualquer instante e quantas vezes forem necessárias. Para reavaliar esses atributos, basta determinar novos valores para os termos $offset_v$ e $offset_h$ dentro da faixa $(-1/2, 1/2)$ e recalcular os valores P_v e P_h (Equações 2 e 3). Com a mudança desses valores, podem ocorrer alterações nos relacionamentos espaciais entre os atributos do tipo traço e os atributos do tipo posicional fazendo com que seja gerada uma sentença alternativa para identificação do caractere, que antes era homônimo de um outro.

CONCLUSÕES

A principal vantagem da solução do problema de identificação de placas de veículos proposta neste trabalho é a versatilidade do método, a qual pode ser empregada para solucionar os problemas de geração de homônimos.

Quanto à eficiência do sistema, ressalta-se que sua taxa de reconhecimento positivo, 90%, está situada entre aqueles que produzem os melhores resultados. Vê-se, no caso deste trabalho, que através de um treinamento mais intensivo do sistema, com a criação de sentenças de identificação alternativas para os caracteres envolvidos em confusão por geração de sentenças homônimas, pode-se atingir uma taxa de reconhecimento efetiva superior a 98%.

A principal desvantagem da solução proposta está na possibilidade de geração de muitas sentenças sintáticas para cada um dos caracteres, uma vez que o método proposto não é independente da rotação do caractere.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COWELL, J.R. Syntactic pattern recognizer for vehicle identification numbers. *Image and Vision Computing*, 13:13-19, 1995.
- FU, K.S. Syntactic pattern recognition and applications. In: SHALKOFF, R. (ed.). *Pattern Recognition: statistical, structural and neural approaches*, New York: John Wiley & Sons, 1992.
- FU, K.S. Syntactic pattern recognition, In: YOUNG, T.Y. (ed.). *Handbook of pattern recognition and image processing*, New York: Academic Press, 1986.
- NIJHUIS, J.A.G., BRUGGE, M.H., HELMHOLT, K.A., PLUIM, J.P.W. SPAANENBURG, L. VENEMA, R.S. & WESTENBERG, M.A. Car license plate recognition with neural networks and fuzzy logic, IEEE International Conference on Neural Networks, pp. 2232-2236, 1995.
- PINHO C. Punição Eletrônica. ISTOÉ, 3(1374):70, 1996.
- POLIDÓRIO, A.M. & BORGES, D.L. Reconhecimento de caracteres para identificação de placas de veículos. SIBIGRAPI, 9, 1996. *Anais...* Caxambu, 1996. p.363-364, 1996.
- SHALKOFF, R. *Pattern recognition: statistical, structural and neural approaches*, New York: John Wiley & Sons, 1992.
- TOU, J.T. & GONZALEZ, R.C. *Pattern recognition principles*, Massachusetts: Addison Wesley, 1974.