

KITT - Sistema de Carro Inteligente com Apoio à Segurança do Motorista

Arthur Nascimento Assunção, Ricardo Creonte Câmara De Meira Santos, Luiz Gustavo Xavier Janeiro, Rafael Ferreira Vitor, Fábio Oliveira de Paula e Ricardo Augusto Rabelo Oliveira

Universidade Federal de Ouro Preto,
Departamento de Computação - DECOM

Email: {arthur.xx92, ricardocamara03, luizjaneiro007, faelferreirav, fabio.olp, rrabelo}@gmail.com

Resumo—A detecção de erros do condutor é uma das questões-chave de veículos inteligentes e de *Advanced Driver Assistance Systems* (ADASs) utilizados no tráfego urbano. Este artigo apresenta um sistema para reduzir acidentes e auxiliar o motorista em vários aspectos da condução a partir do monitoramento de sonolência com base no comportamento do condutor e de erros na direção com o uso do gráfico de controle *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA). Mais especificamente, a detecção de faixas é realizada pela aplicação da transformação de distância com o uso da distância euclidiana em imagens da estrada em frente ao veículo. Outra câmera é posicionada em frente ao motorista e fornece imagens para detectar sonolência do condutor. O monitoramento do volante é feito por meio dos dados de um acelerômetro e do pedal do freio através de um potenciômetro. O EWMA é aplicado aos dados do volante, pedal e da face do condutor para a identificação de erros e de sonolência. Alertas sonoros e visuais são emitidos ao condutor quando algum problema é detectado. Os resultados experimentais em conduções mostram a eficácia do sistema proposto.

I. INTRODUÇÃO

No século 21, os carros são uma das invenções mais utilizadas. No entanto, um grande número de pessoas são mortas em acidente de viação a cada ano. Estatísticas indicam que aproximadamente 1.24 milhões de pessoas morrem a cada ano nas estradas, sendo 35 mil de mortes apenas no Brasil, e 20 a 50 milhões de pessoas sofrem lesões não fatais devido a acidentes rodoviários [1]. Com base em relatórios da polícia, a *US National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA) estimou que um total de 100.000 acidentes com veículos a cada ano são resultado direto da sonolência do motorista, resultando em aproximadamente 1.550 mortes e 71.000 feridos [2]. No ano de 2009, o *US National Sleep Foundation* (NSF) informou que 54% dos motoristas adultos já conduziram o veículo com sonolência e 28% já dormiram ao volante [3].

Para resolver estes problemas, são desenvolvidos Sistemas Avançado de Assistência ao Condutor (ADASs - *Advanced Driver Assistance Systems*), estes sistemas têm potencial para reduzir significativamente os acidentes rodoviários e aumentar o conforto durante a condução. Um ADAS é um sistema de controle no veículo que utiliza sensores para melhorar o conforto e segurança no trânsito, auxiliando o motorista no reconhecimento e reação a situações potencialmente perigosas. Um veículo com um ADAS é popularmente conhecido como um veículo inteligente, pois o ADAS pode intervir de forma autônoma. Estes sistemas devem atender a algumas exigências, como desempenho, confiabilidade (baixa taxa de falsos positivos) e segurança (alta taxa de precisão) [4].

Este artigo tem como objetivo apresentar um ADAS para melhorar a segurança no ambiente veicular. Este sistema monitora a sonolência, movimentos incorretos no volante e no pedal do freio, com o uso de técnicas novas e de técnicas da literatura. A partir do monitoramento da situação do condutor o sistema deve identificar situações de risco e alertar o condutor para evitar possíveis acidentes. Desta forma, o sistema aumenta consideravelmente a segurança no ambiente veicular.

O documento está organizado da seguinte forma: Seção II apresenta os trabalhos relacionados, a Seção III apresenta o ADAS proposto, enquanto a Seção IV apresenta o ambiente de testes, os cenários e a extração dos dados. Os resultados são apresentados na Seção V. Finalmente as conclusões e os trabalhos futuros são apresentados na Seção VI.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Sistemas para auxiliar e melhorar a condução são estudados à décadas e são foco de estudo atualmente, sendo explorados por alguns autores [5].

Em [6] é projetado um ADAS com detecção de sonolência, detecção de faixa e de pedestres e carros que estão a uma distância considerada de risco. O sistema emite alertas, incluindo alertas sonoros, para evitar acidentes.

Wang et al. [7] propôs um sistema com auto-aprendizagem que inclui controle de velocidade de cruzeiro (ACC - *Adaptive Cruise Control*) e aviso de colisão frontal, as características de condução dos motoristas foram analisadas com base em um método recursivo de quadrados mínimos com um fator de esquecimento para se adaptar às características individuais de cada condutor. Esse sistema foi testado em ambientes reais e os resultados mostraram a eficácia do sistema.

Foi proposto por [8] um sistema de assistência ao motorista e segurança dos pedestres utilizando uma câmera para analisar o condutor e duas câmeras para detecção de obstruções e pedestres na estrada. O sistema detecta faixas da pista, bem como veículos e pedestres a frente, além disso utiliza a linha de visão do condutor, esta linha é definida pela posição de sua face e olhos com base nas imagens da câmera posicionada a sua frente, para verificar se há perigo na direção, como o veículo não estar no centro da faixa.

O sistema proposto detecta as faixas da estrada mesmo em curvas bem acentuadas, diferente de [6]. Não realiza detecção de colisão frontal e nem ACC como [7]. Este sistema utiliza

apenas uma câmera para a detecção da faixa, possuindo menor custo que [8], mas sem detecção de veículos e pedestres.

III. O SISTEMA PROPOSTO

Nesta seção é descrito o sistema e as detecções realizadas: detecção de faixas, de movimentos bruscos do condutor no volante e no pedal do freio e de sonolência.

A. Equipamento

Por não ser seguro realizar testes relacionados à erros de condução na estrada, é utilizado um simulador de baixo nível, constituído por um computador, um conjunto de monitores, um *cockpit* realista, um volante, caixa de marcha manual e pedais (embreagem, freio e acelerador), como ilustra a Figura 1.



Figura 1: Simulador de condução.

O uso de simuladores de condução tem uma importante limitação, os motoristas não percebem os reais riscos, pois a consciência de que estão num ambiente simulado pode gerar um comportamento diferente do que na estrada real [9]. Porém, pesquisadores têm validado que simuladores podem criar um ambiente bastante semelhante ao real [10] e [11].

Para a obtenção dos dados foram utilizados os seguinte componentes de *hardware*:

- Uma câmera de vídeo posicionada em frente ao motorista conectada a uma placa Wandboard Quad para captura de informações do condutor, por meio de sua face.
- Para a detecção das faixas da pista é utilizada a gravação da imagem do monitor durante a condução, simulando uma câmera instalada no capô do veículo voltada para a estrada.
- Um acelerômetro capacitivo no volante conectado a um Arduino para captura dos movimentos do volante.
- Um potenciômetro no pedal do freio conectado a um Arduino para captura dos dados do pedal.

A Figura 2 ilustra o posicionamento do *hardware* dentro do veículo. No posicionamento proposto podemos variar apenas a localização das unidades de processamento. A posição do computador de bordo, dos sensores e das câmeras não pode ser alterada. O computador de bordo necessita ficar próximo ao condutor para que o condutor ouça e visualize os sinais de alerta claramente e tenha fácil acesso a ele para executar outras atividades de seu interesse.

Em [12] foi mostrado que a Wandboard Quad tem um desempenho satisfatório na execução de algoritmos de detecção

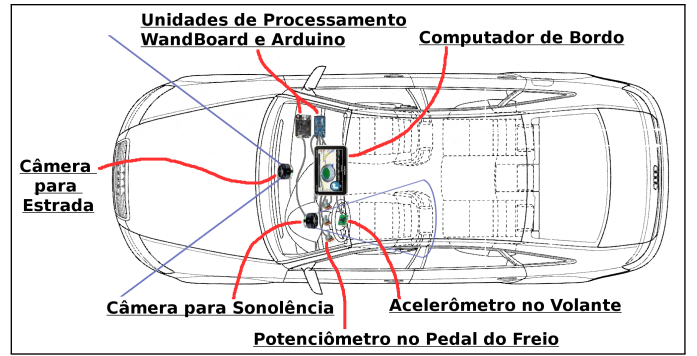


Figura 2: Posicionamento do *hardware* para o sistema proposto.

facial em tempo real, por isso ela foi escolhida como plataforma para execução da detecção de sonolência.

O sistema satisfaz algumas exigências mencionadas em [4], como confiabilidade, bom desempenho em tempo real (≈ 20 FPS (*Frames per second* - Quadros por Segundo) com a Wandboard e ≈ 10 leituras por segundo com o Arduino), baixo custo com um tamanho reduzido, além de baixo consumo de energia e flexibilidade.

B. Detecção de Faixa

A detecção de faixa tem como objetivo analisar a posição do veículo em relação as faixas e, assim, poder indicar que o veículo está saindo da faixa ou até que houve saída de faixa. Esta detecção é ilustrada na Figura 3.

A saída comumente acontece por distração do motorista, seja por sonolência ou algum erro que gere um movimento incorreto. Sendo assim, por meio desta informação é possível alertar o condutor que o veículo está saindo da faixa e esse deverá tomar uma atitude, seja acionar uma sinalização de mudança de faixa ou voltar a faixa.

Esta análise é realizada a partir do processamento das imagens do vídeo da estrada em frente ao veículo. Primeiro é feita a extração da imagem da região de interesse pré-definida (ROI), sobre essa imagem é aplicada uma inversão de perspectiva pela técnica *bird's-eye image*, proposta por [13], para criar uma imagem com as faixas paralelas. Este passo é necessário, pois a técnica de identificação de faixas necessita que elas estejam paralelas para estimar o seu posicionamento. Após isso, é utilizado um filtro para a intensificação da marcação da faixa, definido por [14], por meio de uma largura de pixel pré-computada, w , da imagem em escala de cinza, na linha da imagem, v . O filtro intensifica o valor dos *pixels* das faixas da imagem, $I(u, v)$, em outra intensidade, $I(u, v)'$. A seguinte fórmula é utilizada para o filtro:

$$I(u, v)' = 2 \times I(u, v) - \{I(u - w_i, v) + I(u + w_i, v)\} - |I(u - w_i, v) - I(u + w_i, v)|$$

Posteriormente, com a imagem intensificada, um limiar é adotado com o intuito de tornar a imagem binária. Para isso, os *pixels* que estiverem acima do limiar recebem o valor 1 (cor branca) representado a faixa e 0 (cor preta) o resto da imagem.

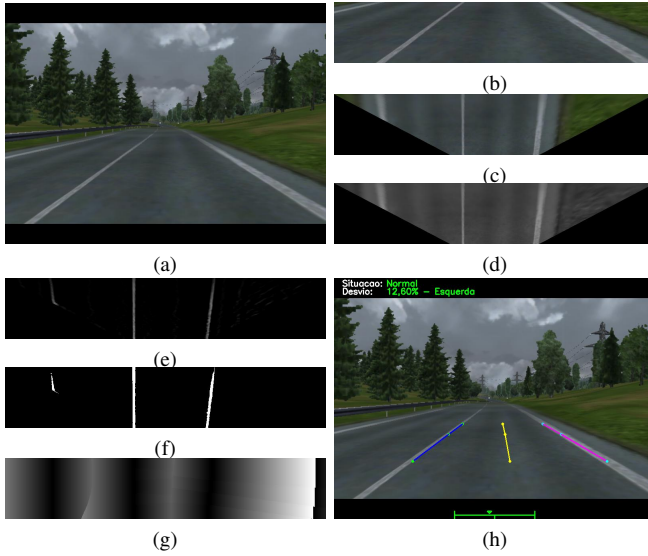


Figura 3: Detecção de faixa em um dos *frames* dos experimentos. (a) imagem de entrada, (b) região de interesse pré-definida (ROI - *Region of interest*), (c) ROI com a aplicação da técnica *bird's eye*, (d) ROI em escala de cinza, (e) imagem intensificada, (f) imagem binarizada, (g) transformação da distância e (h) resultado da detecção de faixas.

Por fim é aplicada a fórmula de transformação de distância utilizando como métrica a distância Euclidiana na imagem binarizada, como feito em [13]:

$$dt(p) = \min_u \{d_e(p, q_u) : I(q_u) = 0 \wedge 1 \leq u \leq U\}$$

$$d_e(p, q_u) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

para pontos $p = (x_1, y_1)$ e $q = (x_2, y_2)$, sendo q o ponto branco mais próximo de p e u lista todos os U *pixels* na imagem I . Esta fórmula é utilizada para encontrar a distância do *pixel* até o *pixel* branco mais próximo. A partir desta distância é gerada uma imagem em degradê onde as regiões mais escuras são as faixas.

Com as faixas detectadas, a estrada é dividida em dois setores, faixa da esquerda e faixa da direita. A mediana entre essas faixas é o centro da via. A partir do centro da imagem (centro do veículo) pode-se obter a variação da posição do veículo sobre a estrada. Sendo cada limite, esquerdo e direito, como 100%, uma posição maior que 60% é considerado como invadindo outra faixa. Um movimento de zigue-zague poderia ser detectado por uma análise em um intervalo de tempo.

C. Detecção de Movimentos Bruscos do Conductor

A detecção de erros causado por movimentos bruscos tem como objetivo a identificação de dois tipos de eventos: 1) movimentos bruscos no volante que causam desvios na faixa e 2) movimentos bruscos no pedal do freio. Estes eventos são perigosos, pois podem causar algum tipo de acidente e até indicar que o condutor está com sonolência.

Os eventos perigosos relacionados a desvios na faixa são desvios que podem variar de menores (por exemplo, uma parte do veículo que cruza o limite da faixa) para os maiores (por exemplo, um veículo inteiro que atravessa os limites da faixa).

Para a identificação destes eventos é aplicado um controle estatístico de processos (SPC - *Statistical Process Control*). Este SPC é uma técnica usualmente utilizada para monitorar o comportamento de um processo pelo comportamento estatístico das variáveis analisadas, assim controlando a qualidade e identificando momentos fora de controle para que contramedidas possam ser aplicadas. Essa qualidade é definida como uma condução sem erros ou movimentos que podem causar acidentes.

Neste trabalho, o gráfico de controle usado foi o *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA). Este gráfico permite uma rápida detecção de situações fora de controle. De acordo com [15], o gráfico de controle compara amostragens com as medidas de média, μ , e variância, σ^2 , esperados. Esses valores amostrados, \bar{x} , são comparados com dois limites, um superior, UCL (*Upper Control Limit*), e um inferior, LCL (*Lower Control Limit*), que estão associados ao valor de μ . O EWMA, definido por [16], permite uma rápida detecção de situações fora de controle, podendo utilizar alguma especificação de valores que são aceitos ou o histórico dos dados corretos.

A estatística do EWMA no tempo t , $EWMA_t$, é recursivamente calculada a partir da média dos valores de subgrupos amostrados onde o primeiro valor da série do EWMA é calculado como a média do primeiro subgrupo, esses subgrupos tem tamanho pré-definido e tem a média e desvio padrão calculados.

$$EWMA_t = \lambda \bar{x} + (1 - \lambda)EWMA_{t-1}$$

onde λ é o fator de peso, que altera a sensibilidade à mudanças, este valor varia de 0 a 1. Assim, uma decisão de controle utiliza como base subgrupos anteriores e o atual. O limite LCL é calculado como $LCL = EWMA_1 - s \cdot \sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}}$ e o UCL pela fórmula $UCL = EWMA_1 + s \cdot \sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}}$ onde $EWMA_1$ é a primeira medida, s é o desvio padrão dos valores de \bar{x} , o σ é um fator que permite uma maior abertura dos limites, sendo usualmente um valor até 3.

A partir destes limites é possível identificar que houve movimentos bruscos. Para movimentos bruscos no volante que geram desvios na faixa são geradas especificações de valores aceitos, que chamamos de calibragem. Essa especificação depende da velocidade do veículo e é feita com giros que vão do sentido anti-horário ao horário. O trabalho de [17] faz um uso diferente do SPC, focado em *lane departure*, utiliza apenas o acelerômetro de um *tablet* e duas especificações, uma para da sentido.

Neste trabalho é feita apenas uma especificação. Quando ocorre um movimento que não respeita a especificação, rapidamente o EWMA o detecta. A detecção ocorre aplicação do gráfico de controle aos dados em aceleração (ms^2) do eixo X do acelerômetro.

O pedal utilizado é o de freio, para ele é também gerada uma calibragem, e os dados analisados representam a distância entre o pedal e o suporte dos pedais, em centímetros, sendo 7 cm quando está em repouso.

Um alerta visual, luz vermelha, é emitido quando um movimento brusco ocorre, indicando que o movimento é perigoso.

D. Detecção de Sonolência

Esta detecção tem como objetivo detectar a sonolência do condutor. A sonolência é detectada através das características do condutor que são extraídas utilizando técnicas de processamento de imagens, reconhecimento de padrões e SPC. Esta parte do sistema tem como entrada somente as imagens adquiridas pela câmera voltada para a face do motorista.

O processamento das imagens da câmera fornece informações relacionadas ao condutor. Estas informações são: direção da face (frente, esquerda ou direita) e condição dos olhos (abertos ou fechados) em um dado instante.

O detector de sonolência é dividido em duas etapas: 1) detecção de face e 2) classificação dos olhos.

A detecção de face é feita utilizando o método descrito em [18] com os incrementos propostos em [19]. No primeiro é utilizada aprendizagem de máquina para detecção de objetos em imagens, dividindo a base em duas partes, uma contendo o objeto e a outra não, para extrair características que diferem das duas partes. A proposta com os incrementos utiliza mais características no quadro de aprendizagem por meio de rotações em 45 graus no treinamento do classificador.

Para esta etapa são utilizados dois classificadores, um treinado para detectar faces frontais e outro treinado para detectar faces laterais. O classificador para detecção de faces laterais foi treinado com faces de perfil voltadas para a direita, assim para detecção de faces voltadas para esquerda a imagem é espelhada antes da realização da busca.

O primeiro passo do algoritmo é buscar por face frontal, se encontrada, o algoritmo passa para a próxima etapa, a classificação dos olhos. Caso não seja detectada a face frontal, o algoritmo realiza a busca pela face lateral (esquerda e direita) e depois o processo é realizado na próxima imagem.

A classificação dos olhos é realizada da seguinte maneira: o primeiro passo é localizar os olhos, durante a inicialização do *software* a localização é feita usando um classificador treinado para localizar olhos utilizando as técnicas usadas para a detecção de face. Após a inicialização, a localização do olho é feita através de casamento de *template*, usando um *template* salvo na inicialização. Após a localização dos olhos, é feita a classificação propriamente dita, para determinar se os olhos do condutor estão abertos ou fechados naquele instante. A classificação é feita utilizando três classificadores SVM (*Support Vector Machine*), treinados com uma base 4000 olhos abertos e 4000 olhos fechados, estes classificadores recebem com entrada dados retirados pelos seguintes descritores de imagens: LBP (*Local Binary Pattern*), LTP (*Local Ternary Pattern*) e HOG (*Histograms of Oriented Gradient*). Por meio da classificação dos olhos em uma sequência de imagens é possível detectar as piscadas do motorista e também medir o tempo de duração de cada uma delas.

Os dados finais extraídos pelo detector de sonolência são:

- Tempo de distração, intervalo de tempo no qual o motorista não está olhando para a frente.
- Número de piscadas em um intervalo pré-determinado de tempo.
- Porcentagem de tempo de olho fechado em um intervalo pré-determinado de tempo.

- Porcentagem de tempo de olho fechado por leitura, cada leitura é feita a cada 2 segundos.

O gráfico de controle EWMA é utilizado com o tempo de olho fechado por leitura para o monitoramento da atenção do condutor, indicando momentos de sonolência, onde o condutor fica mais de meio segundo com os olhos fechados. Esses momentos são validados por um observador.

Um alerta sonoro é emitido para indicar ao condutor que está com sonolência e que deve retomar a atenção.

IV. EXPERIMENTOS

A. Cenários de Condução

A fim de verificar a viabilidade do sistema proposto, é importante avaliar a taxa de precisão e de falsos positivos. Os experimentos foram realizados em laboratório, de maneira controlada, numa rodovia no simulador de condução. Resultados apresentam valores com intervalo de confiança de 95%.

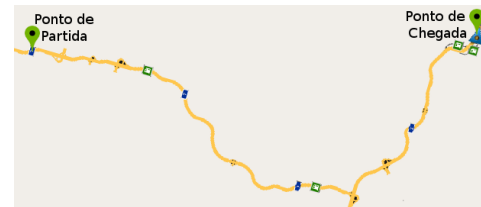


Figura 4: Rota de teste no simulador de condução.

A rota de teste, Figura 4, foi selecionada por incluir diversas situações de condução, como estrada reta, curvas, trechos com pistas duplas, triplas e pistas com sentidos opostos.

Durante os testes o condutor ligou o veículo e seguiu o trajeto definido. A velocidade foi mantida em torno de 80 km/h (quilômetros por hora).

O procedimento do experimento foi realizado por 6 condutores da seguinte forma:

- Foi pedido ao condutor que mantivesse a velocidade do veículo em torno de 80 km/h.
- A condução teve duração de 10 minutos.
- Nos primeiros 5 minutos, o condutor foi instruído a não cometer erros e manter a atenção.
- A partir de 5 minutos de condução, foi pedido ao motorista que simulasse sonolência, como piscar os olhos de forma mais lenta e com maior duração. Essa sonolência foi avaliada por um observador.
- A cada ≈ 30 segundos um evento foi realizado pelo condutor, cada tipo de evento foi realizado três vezes, sendo três tipos:
 - 1) sonolência seguida de movimentos bruscos no volante no sentido anti-horário.
 - 2) sonolência seguida de movimentos bruscos no volante no sentido horário.
 - 3) sonolência seguida de freagem brusca, simulando um momento onde o veículo se aproxima de algum objeto e precisa frear para evitar uma colisão.

B. Extração dos Dados

Devido a problemas nos sinais do acelerômetro e potenciômetro, como ruído e imprecisão, é aplicado um filtro passa-baixas do tipo média móvel [20], que constitui da média das últimas N amostras do sinal, sendo N o tamanho da janela. Cada sensor utilizou um tamanho de janela que se adequou melhor ao tipo de sinal, essa janela foi definida a partir da análise do sinal com valores que variaram de 7 a 2, quanto menor menos informação foi perdida e houve menos atraso no sinal, desta forma escolhemos os tamanhos: 2 para o acelerômetro e 3 para o potenciômetro.

Os dados da câmera posicionada em frente ao condutor foram obtidos e processados pela placa Wandboard, onde são extraídos o número de piscadas total, o número de piscadas nos últimos 20 segundos, a porcentagem de tempo que os olhos ficaram fechados em cada leitura (2 segundos) e nos últimos 50 segundos e, por fim, a posição da face (frontal, direita, esquerda ou distraída). A obtenção dos dados do eixo X do acelerômetro e a distância do pedal do freio, de 7 (repouso) a ≈ 1 (pressionado) centímetros, é feita pelo Arduino.

Os dados da câmera voltada para a estrada foram obtidos pela gravação da imagem da estrada da simulação e algoritmo de detecção de faixa fornece: o tempo em segundos e desvio percentual do centro da pista, sendo o valor do desvio para esquerda negativo e para a direita positivo.

V. DISCUSSÃO

As taxas de detecção e falsos positivos dos componentes do sistema e do sistema completo são apresentadas no gráfico da Figura 6. A aplicação do gráfico EWMA nos dados do volante garantiu uma taxa de detecção de movimentos bruscos de 91.66% com apenas 5.55% de falsos positivos. Os resultados da detecção no freio mostram que 94.44% das freadas bruscas foram detectadas com uma alta taxa de 24.72% de falsos positivos. Essa boa detecção é uma característica do gráfico de controle EWMA que permite uma eficiente e rápida detecção de eventos fora de controle em um processo.

A sonolência foi avaliada por um observador e comparada com os gráficos EWMA aplicados ao tempo de olho fechado por leitura, o gráfico com os resultados é mostrado na Figura 6. Apesar da alta precisão (94.46%), a detecção de sonolência teve uma considerável taxa de falsos positivos, 21.68%. Isso ocorre pela forma como o EWMA funciona, é possível que com um melhor refinamento os falsos positivos diminuam sem uma grande diminuição da taxa de detecção.

A detecção de faixa permitiu a identificação da posição do veículo em relação a faixa em 98.13% do trajeto, como apresentado na Figura 6. A iluminação da estrada foi o principal fator que impediu a detecção das faixas em toda a rota. Foram indicados os momentos que o condutor estava saindo de faixa, tendo também como informação o desvio do veículo em relação ao centro da faixa. A partir desse componente, o condutor poderia ser informado que algum indicador de mudança de faixa deveria ser ligado, como as setas, bem como avisar o condutor de que não deve ser feita uma ultrapassagem caso a estrada não permita, como estrada com faixas contínuas.

Ainda na Figura 6, é mostrado que o sistema proposto tem uma alta precisão (94.67%) e aceitável taxa de falsos positivos

(13.38%), estes valores foram gerados a partir da média de detecção dos componentes que tiveram as taxas de detecção e de falso positivos analisadas.

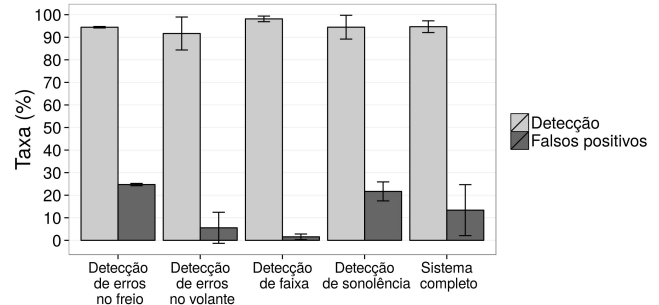


Figura 6: Taxa de detecção dos componentes do sistema, detecção de faixa, de sonolência, de erros no uso do freio e volante, e do sistema completo.

Os alertas do sistema ocorreram em duas situações: 1) alerta visual indicando que um movimento brusco ocorreu no volante ou pedal do freio e 2) um alerta sonoro quando o condutor manteve os olhos fechados por 1 segundo. Os testes no simulador mostraram que os alertas foram satisfatórios. E o tamanho da amostra foi suficiente para mostrar que os resultados são promissores.

A. Exemplo de condução

Para terminar essa seção, são apresentados os gráficos de controle de uma condução dos testes, Figura 7. Em todos os gráficos, pontos muito próximos foram considerados referentes a uma mesma detecção ou falso positivo. Os pontos cinzas indicam pontos fora de controle, detecções ou falsos positivos. Pode-se observar na Figura 7(a) que todos os 6 erros foram detectados, 3 movimentos bruscos no volante em cada sentido (anti-horário e horário). Alguns erros foram detectados mais de uma vez, isso se deve a rápida detecção do EWMA.

O gráfico EWMA com os dados do pedal do freio é mostrado na Figura 7(b). As três linhas verticais com pontos cinzas a direita são os erros simulados que foram detectados. O gráfico de controle conseguiu detectar os 3 erros, várias vezes (pontos cinzas próximos), com 1 falso positivo. Esse falso positivo foi um momento onde o condutor precisou frear, porém deveria ser considerado sem riscos.

O gráfico de controle com os dados da sonolência é apresentado na Figura 7(c), pode-se ver que pontos fora de controle foram detectados a partir da metade do gráfico, isso se deve ao fato da sonolência ter sido simulada a partir da metade da condução. Os momentos de sonolência foram observados e comparados com o gráfico, os pontos cinzas mostram momentos de sonolência, porém alguns pontos foram indicados em momentos incorretos, por este motivo a taxa de falso positivo não foi baixa para esta detecção.

VI. CONCLUSÃO

No desenvolvimento de um sistema em tempo real e robusto para um automóvel, a visão computacional, aprendizado

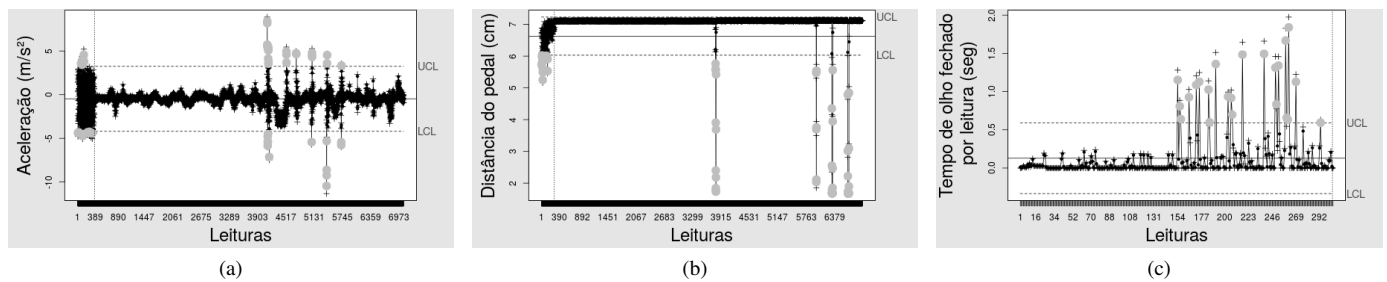


Figura 7: Gráficos EWMA para detecção no volante, no pedal do freio e de sonolência. (a) detecção no volante aplicado ao eixo X do acelerômetro, (b) detecção no pedal do freio e (c) detecção de sonolência a partir do tempo de olho fechado por leitura.

de máquina, reconhecimento de padrões, processamento de imagens, controle estatístico de processos e outras técnicas desempenham papéis importantes, oferecendo abordagens não invasivas para a melhorar a condução com o mínimo de incômodo e interferência. Neste artigo, foi apresentado um ADAS que realiza a análise de comportamento e ações do condutor. Foram utilizadas técnicas já existentes e novas, como uma nova detecção de sonolência com EWMA que utiliza métodos de identificação de face e olhos da literatura, uma nova detecção de movimentos bruscos no volante, além de uma nova análise de erros no uso do pedal do freio.

Essas novas técnicas que utilizam SPC oferecem um novo horizonte com baixo custo e, pela natureza do EWMA, rápida detecção. Todas técnicas usadas permitem um sistema de segurança de dentro e de fora do veículo. Não só cada nova técnica representa uma nova contribuição, como a combinação de todos os métodos e como eles são integrados fornecem um avanço em matéria de segurança e auxílio na condução e no trânsito.

Devido às razões éticas, optamos por realizar nosso experimento em um simulador de condução, em vez de uma rodovia real. A condução em uma rodovia real pode adicionar um realismo substancial e talvez resultados diferentes.

Como trabalhos futuros serão adicionadas técnicas para detecção de carros, pedestres e placas de trânsito. Técnicas para conexão com o veículo, como identificar que o condutor acionou a sinalização para mudança de faixa, bem como o refinamento das técnicas para diminuir os falsos positivos.

ACKNOWLEDGMENT

Os autores gostariam de agradecer a CAPES, UFOP, Laboratório iMobilis e SEVA pelo apoio a este trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] W. H. Organization et al., *WHO global status report on road safety 2013: supporting a decade of action*. World Health Organization, 2013.
- [2] T. A. Dingus, S. Klauer, V. Neale, A. Petersen, S. Lee, J. Sudweeks, M. Perez, J. Hankey, D. Ramsey, S. Gupta et al., "The 100-car naturalistic driving study, phase ii-results of the 100-car field experiment," Tech. Rep., 2006.
- [3] N. S. F. (NSF), "Getting enough sleep can save your life on the roads," Washington DC USA, 2010.
- [4] G. Velez and O. Otaegui, "Embedded platforms for computer vision-based advanced driver assistance systems: a survey," *arXiv preprint arXiv:1504.07442*, 2015.
- [5] K. Bengler, K. Dietmayer, B. Farber, M. Maurer, C. Stiller, and H. Winner, "Three decades of driver assistance systems: Review and future perspectives," *Intelligent Transportation Systems Magazine, IEEE*, vol. 6, no. 4, pp. 6–22, 2014.
- [6] H. Kumar, Z. Ahmed, A. Shetty, N. Bangera, and V. Bangera, "i-car: An intelligent and interactive interface for driver assistance system," *Science, Technology and Arts Research Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 197–200, 2014.
- [7] J. Wang, L. Zhang, D. Zhang, and K. Li, "An adaptive longitudinal driving assistance system based on driver characteristics," *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, vol. 14, no. 1, pp. 1–12, 2013.
- [8] J.-C. Chien, J.-D. Lee, C.-M. Chen, M.-W. Fan, Y.-H. Chen, and L.-C. Liu, "An integrated driver warning system for driver and pedestrian safety," *Applied Soft Computing*, vol. 13, no. 11, pp. 4413–4427, 2013.
- [9] F. Bella, "Driver perception of roadside configurations on two-lane rural roads: Effects on speed and lateral placement," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 50, pp. 251–262, 2013.
- [10] J.-M. Auberlet, F. Rosey, F. Anceaux, S. Aubin, P. Briand, M.-P. Pacaux, and P. Plainchault, "The impact of perceptual treatments on driver's behavior: From driving simulator studies to field tests—first results," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 45, pp. 91–98, 2012.
- [11] D. R. Mayhew, H. M. Simpson, K. M. Wood, L. Lonero, K. M. Clinton, and A. G. Johnson, "On-road and simulated driving: Concurrent and discriminant validation," *Journal of safety Research*, vol. 42, no. 4, pp. 267–275, 2011.
- [12] R. C. C. d. M. Santos and R. A. R. Oliveira, "Análise de desempenho de um sistema embarcado de detecção de fadiga de condutores," in *Anais do IV Simpósio Brasileiro de Engenharia de Sistemas Computacionais (SBESC)*, Manaus, Brasil, Nov 2014.
- [13] J. Ruyi, K. Reinhard, V. Tobí, and W. Shigang, "Lane detection and tracking using a new lane model and distance transform," *Machine vision and applications*, vol. 22, no. 4, pp. 721–737, 2011.
- [14] Y.-W. Seo and R. R. Rajkumar, "Utilizing instantaneous driving direction for enhancing lane-marking detection," in *Intelligent Vehicles Symposium Proceedings, 2014 IEEE*. IEEE, 2014, pp. 170–175.
- [15] D. C. Montgomery, *Introduction to statistical quality control*. John Wiley & Sons, 2009.
- [16] J. S. Hunter, "The exponentially weighted moving average," *J. Quality Technol.*, vol. 18, no. 4, pp. 203–210, 1986.
- [17] A. N. Assuncao, F. O. de Paula, and R. A. R. Oliveira, "Methodology to events identification in vehicles using statistical process control on steering wheel data," in *The 13th ACM International Symposium on Mobility Management and Wireless Access (MobiWac 2015)*, Cancun, Mexico, Nov. 2015.
- [18] P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," in *Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on*, vol. 1. IEEE, 2001, pp. I–511.
- [19] R. Lienhart and J. Maydt, "An extended set of haar-like features for rapid object detection," in *Image Processing, 2002. Proceedings. 2002 International Conference on*, vol. 1. IEEE, 2002, pp. I–900.
- [20] A. V. Oppenheim, *Sinais e sistemas*. Prentice-Hall, 2010.