

Metodologia para Detecção de Saída de Faixa Utilizando EWMA Aplicado a Sensores Inerciais no Volante

Arthur Nascimento Assunção, Fábio Oliveira de Paula e Ricardo Augusto Rabelo Oliveira
Universidade Federal De Ouro Preto,
Departamento de Computação - DECOM
Email: {arthur.xx92, fabio.olp, rrabelo}@gmail.com

Resumo—Dirigir um veículo tornou-se uma tarefa desafiadora, principalmente porque até 90% dos acidentes com veículos são causados por erros do condutor. Este artigo apresenta uma nova metodologia baseada no veículo para a detecção de saída de faixa accidental com o uso do gráfico de controle *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) aplicado a sensores inerciais. O método proposto realiza a detecção de erros de saída de faixa por meio da aplicação do EWMA nos dados do acelerômetro e giroscópio de um dispositivo móvel acoplado ao volante. A proposta tem baixo custo e, mais importante, rápida detecção, além da possibilidade de ser usada em aplicações online. Um total de 25 conjuntos de dados de várias conduções foram coletados em um simulador de condução. Resultados mostram que a aplicação desta técnica permite a detecção de eventos perigosos de saída da faixa com 72% de precisão e 11,11% de falsos positivos.

I. INTRODUÇÃO

Hoje em dia, automóveis são muito utilizados no dia-a-dia. Contudo, um grande número de acidentes ocorrem nas estradas todos os anos. Pesquisas sugerem que erros do condutor são a principal causa de acidentes rodoviários, indicando que até 90% [1] de todos os acidentes rodoviários envolvem alguma forma de erro do condutor. De acordo com estatísticas analisadas, aproximadamente 1.24 milhões de pessoas morrem a cada ano nas estradas, sendo 35 mil apenas no Brasil, e até 50 milhões de pessoas sofrem lesões não fatais [2].

Para minimizar este problema, a qualidade da condução é avaliada por meio de uma abordagem baseada no veículo que se beneficia por poder medir continuamente, de forma barata, não-intrusiva e robusta, mesmo sob condições ambientais bastante exigentes, sendo menos dependente do condutor e com o uso de sensores em equipamentos já existentes e conhecidos, como o volante [3].

A qualidade da condução pode ser descrita pela condução segura, ou seja, sem erros que causem acidentes. Para que essa condução aconteça corretamente numa rodovia, alguns dados, como do volante, devem estar num patamar aceitável para a velocidade do veículo na rodovia. Através dos valores dos eixos X e Y do acelerômetro e do giroscópio acoplado ao volante, pode-se obter uma descrição da qualidade da condução com o decorrer do tempo.

Neste trabalho foi explorado o uso de controle estatístico de processo em ambientes veiculares, utilizando-o para avaliar a qualidade da condução, tendo como finalidade a detecção de saídas de faixa accidental na estrada. Por meio da aplicação

do gráfico de controle *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) foram monitorados eventos de movimento do volante, ou SWM (*Steering Wheel Movement*), para a identificação destas saídas de faixa. Para isso, os dados do acelerômetro e do giroscópio acoplados ao volante foram obtidos, depois processados com a aplicação de técnicas de calibragem e filtragem de dados, então o gráfico de controle foi aplicado aos dados para a detecção de pontos fora de controle, desta forma permitindo a identificação de eventos.

Nos experimentos realizados foi mostrado que a proposta permitiu a detecção das saídas de faixa do motorista durante a simulação de condução em rodovia com boa taxa de detecção e baixa taxa de falsos positivos.

O documento está organizado da seguinte forma: Seção II apresenta os trabalhos relacionados. A Seção III mostra o controle estatístico de processo. A técnica proposta é mostrada na Seção IV, enquanto a Seção V apresenta a metodologia. Os resultados são apresentados na Seção VI e, finalmente, as conclusões e os trabalhos futuros são mostrados na Seção VII.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Existem na literatura diversas soluções cuja meta é detectar a saída de faixa, porém são poucas as soluções que não utilizam métodos baseados em visão computacional [4].

Em [5] é mostrado um modelo matemático para predição de mudança de faixa utilizando dados do ângulo do volante. McDonald et al. [6] propôs uma abordagem para a detecção de saída de faixa relacionadas com a sonolência utilizando dados ângulo do volante e um algoritmo *Random Forest*.

A proposta de [7] aplica um PLSF (*Piecewise Linear Stretching Function*) para aumentar o contraste da região de interesse (ROI) e a transformada de Hough em duas sub-regiões do ROI, além do uso da distância euclidiana. Jung et al. [8] também propôs um algoritmo baseado em visão computacional para detecção de faixa e, assim, detectar de saída de faixa com uma câmera instalada no centro do veículo, essa proposta tem baixo custo.

Neste trabalho são utilizados os valores de aceleração dos eixos X e Y do acelerômetro e velocidade angular dos eixos X e Y do giroscópio em vez do ângulo do volante, como em [5] e [6], desta forma é uma proposta baseada no veículo diferente das propostas de [7] e [8] que são baseadas em visão computacional, que têm como desvantagem a instalação de

câmeras com bom posicionamento para pista e são sujeitas as condições da estrada, da iluminação e do clima. Além disso, a proposta deste trabalho utiliza gráfico de controle EWMA, consistindo numa nova forma de detecção.

III. A MEDIDA ESTATÍSTICA EWMA

Para a detecção da saída de faixa é aplicado um controle estatístico de processos (SPC). 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 movimentos que causem saída de faixa accidental.

Neste trabalho, o gráfico de controle usado foi o *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA). De acordo com [9], 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 [10], permite uma rápida detecção de situações fora de controle, podendo utilizar alguma especificação de valores que são aceitos ou o histórico dos dados corretos.

IV. PROPOSTA PARA DETECÇÃO DE SAÍDA DE FAIXA

Nesta seção será descrita nossa proposta para detecção da saída de faixa através do uso do controle estatístico de processos, EWMA (*Exponentially Weighted Moving Average*).

A. EWMA na Condução

A primeira etapa neste trabalho foi identificar o que deveria ser medido para monitorar a qualidade da condução. Propomos detectar a saída de faixa a partir de dados do volante, assim os dados dos eixos X e Y do acelerômetro, em aceleração (m/s^2), e do giroscópio, em velocidade angular ($^\circ/s$), conectados ao volante são utilizados para tal medida.

Na literatura, eventos perigosos relacionados à saída de faixa podem variar de menores (e.g., uma parte do carro que cruza o limite de faixa) para as maiores (e.g., um veículo inteiro que atravessa os limites da faixa). Ambos os tipos de saída de faixa são importantes indicadores de falhas do condutor [3]. Porém devido ao fato de boa parte dos condutores cometerem pequenos desvios, os desvios maiores são mais interessantes para aplicação no mundo real, pois são análogos aos acidentes graves [11].

É realizada a aplicação de um controle estatístico para caracterizar a medida de qualidade da condução, esta estratégia determina se a condução obedece determinados padrões, possibilitando detectar e prever possíveis erros do condutor.

Durante a condução, é possível identificar eventos que caracterizam a qualidade da condução, a partir da relação entre a saída de faixa e os movimentos do volante. Esta relação depende, principalmente, da velocidade do veículo, velocidades menores permitem variações maiores sem que haja grandes desvios.

A identificação destes eventos por meio do gráfico de controle necessita que os parâmetros de controle LCL e UCL descrevam corretamente cada evento, mostrando uma nova tendência da condução. Assim, se o veículo permanecesse parado ou sem que o veículo inteiro atravessasse os limites da faixa, o gráfico de controle descreve essa condição como um evento determinado. Caso aconteça um movimento brusco, os valores dos dados são alterados, rompendo com algum dos limites e um novo evento pode ser identificado.

B. Saída da Faixa Accidental

Definição: Uma saída da faixa accidental está associada a um movimento brusco do volante no sentido horário ou anti-horário onde o veículo inteiro atravessa os limites da faixa. Este movimento varia de acordo com a velocidade do veículo.

Computacional: Nós detectamos a saída da faixa a partir da aplicação do gráfico de controle EWMA nos dados dos eixos X e Y do acelerômetro e do giroscópio conectado ao volante. O EWMA recebe uma especificação de valores do volante, que chamamos de calibragem, para a identificação do movimento perigoso de saída da faixa. Os valores da especificação dependem da velocidade do veículo. Quando ocorre um movimento que não respeita a especificação, rapidamente o EWMA o detecta. Foram geradas especificações para cada um dos sentidos de giro do volante, horário e anti-horário, cada uma para detectar eventos em seu sentido quando o EWMA é aplicado ao eixo X do acelerômetro e nos dois sentidos quando o gráfico de controle é aplicado ao eixo Y do acelerômetro ou aos eixos do giroscópio.

V. METODOLOGIA

A. Equipamento

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). Tendo como principais vantagens: controle experimental, baixo custo, eficiência, segurança e facilidade na coleta de dados [12]. A Figura 1 ilustra o simulador de condução utilizado neste trabalho.

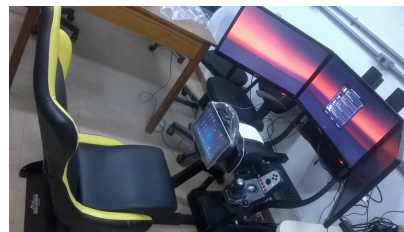


Figura 1: Simulador de condução.

Para aumentar a precisão dos dados, é aplicada uma calibragem a partir da média de amostras em repouso para obter um valor de referência zero. O valor considerado verdadeiro da amostra é o valor da amostra menos o valor de referência zero. Para essa média foram utilizadas amostras obtidas no intervalo de 30 segundos. E uma filtragem que consiste na redução do conjunto de medidas em uma média acumulada. Esta média acumulada foi calculada com três amostras, pois para uma boa

análise são necessárias algumas leituras por segundo e nosso sistema atual registra, sem erros, 10 leituras por segundos (taxa de amostragem de 100 milissegundos).

Para a obtenção dos dados foi acoplado um dispositivo móvel, um *tablet*, ao volante com a função de obter os valores de dois eixos, X e Y, do acelerômetro e do giroscópio. A referência das coordenadas do *tablet* no volante é definida como mostra a Figura 2. Este dispositivo é equipado com um acelerômetro com princípio capacitivo, o KXTF9, e um giroscópio, o MPL Gyro.

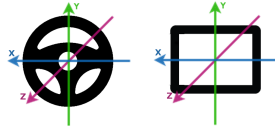


Figura 2: Sistema de coordenadas do Volante e do Tablet.

B. Cenários experimentais

Os experimentos consistiram no seguinte cenário: os condutores são informados que devem cometer alguns erros em determinados tempos, com intervalos de ≈ 40 segundos. O EWMA é aplicado e a condução é avaliada pelo observador. O período de cada registro é definido como 5 minutos.

A fim de verificar a viabilidade do uso do método proposto, é importante avaliar a taxa de saídas de faixa acidentais detectadas e de falsos positivos. Os experimentos foram realizados em laboratório, de maneira controlada, numa rodovia no simulador de condução, como ilustrado na Figura 1. A rota de teste, Figura 3, foi selecionada por incluir diversas situações de condução, como estrada reta, esquinas e curvas, com trechos de pistas duplas e pistas com sentidos opostos. Em cada teste foi necessário que o condutor ligasse o veículo, saísse de uma estacionamento e seguisse o trajeto da rodovia. Os testes de condução foram realizados 25 vezes e os resultados apresentam valores médios com nível de confiança de 95%.

O procedimento do experimento foi realizado da seguinte forma:

- O condutor manteve a velocidade do veículo em torno de 40 km/h (quilômetros por hora).
- Movimentos bruscos foram realizados a cada 40 segundos aproximadamente, os quatro primeiros em sentido anti-horário e os quatro demais sentido horário, totalizando oito movimentos. As saídas de faixa foram observadas, sendo aceitas apenas saídas onde o veículo inteiro atravessou os limites da faixa, invadindo a outra faixa da estrada.
- Cada condução durou cerca de 5 minutos.

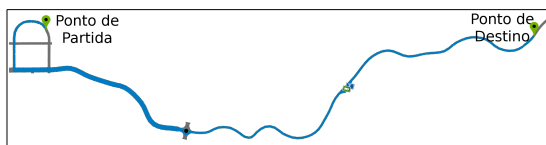


Figura 3: Rota de teste no simulador de condução.

C. Aplicação do EWMA

É obtida uma especificação de valores que são aceitos no gráfico de controle EWMA utilizando dados de movimentos do volante dentro de um padrão aceito, esse padrão aceito é definido por meio da observação dos movimentos do volante que não geram saída de faixa na velocidade definida nos testes, 40 km/h. Esta especificação será chamada calibragem. Dois tipos de dados são obtidos, giros no sentido horário e giros no sentido anti-horário, cada um com 30 segundos de duração.

Os dados obtidos nos testes de condução são utilizados no gráfico de controle com os dados da calibragem. Assim para cada conjunto de dados (dados do eixo X e do eixo Y) são criados dois gráficos EWMA, cada um referente a uma calibragem (dados de giro no sentido horário e giro no sentido anti-horário), totalizando 8 gráficos (dois para cada um dos dois eixos do acelerômetro e dois para cada um dos dois eixos do giroscópio). Cada gráfico tem como objetivo principal detectar erros no sentido de giro da calibragem, porém podendo identificar erros na direção oposta.

O resultado final das detecções é dado pela combinação dos resultados dos sensores gerados por cada uma das calibrações, a combinação dos sensores é feita pela seguinte fórmula:

$$(accX \cup accY) \cap (girX \cup girY)$$

sendo $accX$ um conjunto de pontos detectados como saídas de faixa pelo eixo X do acelerômetro, $accY$ pelo eixo Y e $girX$ e $girY$ um conjunto de pontos detectados pelos eixos X e Y do giroscópio, respectivamente.

VI. DISCUSSÃO

O gráfico da Figura 4 mostra os resultados da combinação dos sensores, a taxa de detecção foi de 72% com uma baixa taxa de falsos positivos, apenas 11.11%.

Essa eficiência é uma característica do gráfico de controle EWMA que permite uma eficiente e rápida detecção de eventos fora de controle em um processo. A realização dos testes em ambiente controlado é um fator que pode ter contribuído para a alta eficiência.

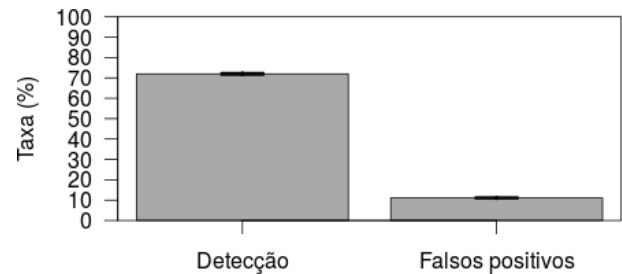


Figura 4: Taxa de detecção e taxa de falsos positivos com a combinação dos resultados dos dois eixos, X e Y.

As Figuras 5 e 6 mostram os gráficos EWMA de uma das conduções dos testes. Os gráficos com os eixos X e Y do acelerômetro, Figuras 5(a) e 5(b), mostram todos os 8 erros sendo detectados, pontos cinzas, com poucos falsos positivos no limite UCL do gráfico do eixo X. Enquanto os EWMA com os eixos X e Y do giroscópio, Figuras 5(c) e 5(d), não

identificaram todos os erros, tendo o eixo Y detectado apenas dois dos erros. Porém a combinação dos sensores permitiu uma detecção da maioria dos erros.

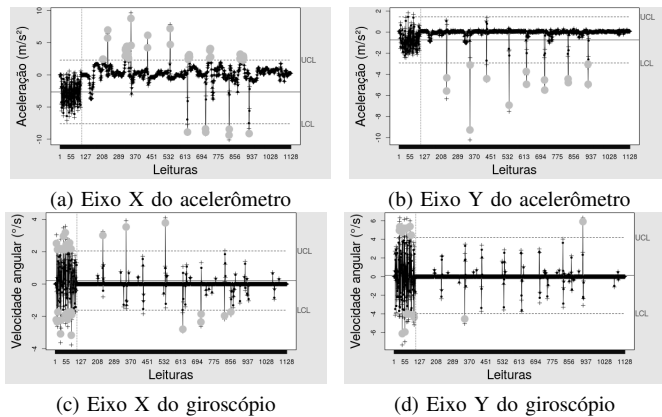


Figura 5: Gráficos de controle EWMA aplicados aos dados do acelerômetro, em m/s^2 , e do giroscópio, em $^\circ/s$. Calibragem com dados de giro no sentido horário.

O gráfico com o eixo X do acelerômetro, Figura 6(a), mostra todos os 8 erros sendo detectados (pontos cinzas), com poucos falsos positivos no limite LCL, porém o gráfico da Figura 6(b) com o eixo Y detectou apenas 2 erros. Enquanto os EWMA com os eixos X e Y do giroscópio, Figuras 6(c) e 6(d), não identificaram todos os erros, tendo o eixo Y detectado apenas dois dos erros. A combinação dos sensores permitiu uma detecção da maioria dos erros.

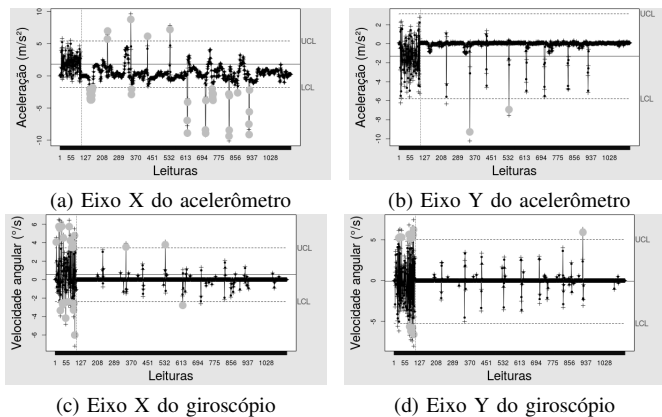


Figura 6: Gráficos de controle EWMA aplicados aos dados do acelerômetro, em m/s^2 , e do giroscópio, em $^\circ/s$. Calibragem com dados de giro no sentido anti-horário.

Uma combinação diferente das detecções de cada um dos sensores pode resultar em uma maior precisão, nossa proposta utilizou a união do eixo X e do eixo Y de cada sensor, pois são complementares, e a interseção dos dois sensores para que a detecção fosse mais fiel a realidade ao ser detectada pelos dois sensores.

VII. CONCLUSÃO

Neste artigo, foi mostrada uma nova técnica para detectar saída de faixa acidental com o uso do gráfico de controle

EWMA aplicado a sensores inerciais, acelerômetro e giroscópio. Os resultados experimentais mostram que a proposta é viável, não sendo intrusiva e sem o uso de câmeras, assim não sendo sujeita a mudanças na iluminação da estrada, pois utiliza sensores no volante para a detecção. Inicialmente, é aplicado o gráfico de controle EWMA aos dados do acelerômetro e giroscópio. Detecções de cada sensor são combinadas. Finalmente, é feita uma interseção para obter pontos que foram detectados pelos dois sensores, tornando a detecção mais fiel a realidade. Esta abordagem permite o uso de um hardware de baixo custo e pouco poder de processamento por não utilizar processamento de imagens. A partir desses aspectos, a metodologia proposta é bem-sucedida e independente das condições de iluminação.

Por razões éticas, optamos por realizar nosso experimento em um simulador. Condução em uma rodovia real pode adicionar realismo substancial e talvez resultados diferentes.

Como trabalhos futuros será feita uma análise mais aprofundada da combinação das detecções dos eixos dos sensores para aumentar a precisão.

ACKNOWLEDGMENT

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

REFERÊNCIAS

- [1] J. R. Treat, N. Tumbas, S. McDonald, D. Shinar, R. Hume, R. Mayer, R. Stansifer, and N. Castellan, "Tri-level study of the causes of traffic accidents: final report. executive summary." 1979.
- [2] W. H. Organization *et al.*, *WHO global status report on road safety 2013: supporting a decade of action.* World Health Organization, 2013.
- [3] C. C. Liu, S. G. Hosking, and M. G. Lenné, "Predicting driver drowsiness using vehicle measures: Recent insights and future challenges," *Journal of Safety Research*, vol. 40, no. 4, pp. 239–245, 2009.
- [4] A. B. Hillel, R. Lerner, D. Levi, and G. Raz, "Recent progress in road and lane detection: a survey," *Machine Vision and Applications*, vol. 25, no. 3, pp. 727–745, 2014.
- [5] K. Schmidt, M. Beggato, K. H. Hoffmann, and J. F. Krems, "A mathematical model for predicting lane changes using the steering wheel angle," *Journal of safety research*, vol. 49, pp. 85–e1, 2014.
- [6] A. D. McDonald, C. Schwarz, J. D. Lee, and T. L. Brown, "Real-time detection of drowsiness related lane departures using steering wheel angle," in *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, vol. 56, no. 1. Sage Publications, 2012, pp. 2201–2205.
- [7] V. Gaikwad and S. Lokhande, "Lane departure identification for advanced driver assistance," *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, vol. 16, no. 2, pp. 910–918, 2015.
- [8] H. Jung, J. Min, and J. Kim, "An efficient lane detection algorithm for lane departure detection," in *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2013 IEEE*. IEEE, 2013, pp. 976–981.
- [9] D. C. Montgomery, *Introduction to statistical quality control.* John Wiley & Sons, 2009.
- [10] J. S. Hunter, "The exponentially weighted moving average," *J. Quality Technol.*, vol. 18, no. 4, pp. 203–210, 1986.
- [11] T. Pilutti and A. G. Ulsoy, "Identification of driver state for lane-keeping tasks," *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on*, vol. 29, no. 5, pp. 486–502, 1999.
- [12] P. Konstantopoulos, P. Chapman, and D. Crundall, "Driver's visual attention as a function of driving experience and visibility. using a driving simulator to explore drivers' eye movements in day, night and rain driving," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 42, no. 3, pp. 827–834, 2010.