Desenvolvimento de uma interface gráfica baseada em smartphone

Palavras-Chave: Smartphone, Machine-Learning, IMU

Autores:
Lucas Eduardo Pinho Vecina, FEM/UNICAMP
Prof. Dr. Eric Fujiwara, FEM/UNICAMP

INTRODUÇÃO:

A tecnologia háptica consiste no realce na forma como interagimos pelo meio digital, impondo estímulos sensoriais a pele e músculos do usuário, gerando assim sensação de toque, força e rigidez, providos por meio de sistemas constituídos por sensores e atuadores [1]. Como forma de contornar os altos custos desses dispositivos, iniciativas recentes buscam inserir cada vez mais essa tecnologia em smartphones, devido a sua desenvolvida arquitetura de hardware, sensores embarcados e ao seu caráter de múltiplos fins de uso, como comunicação, entretenimento, trabalho e estudo.

No entanto, essa retroalimentação gerada ao contato com o touchscreen é limitada na maioria dos dispositivos móveis. A pequena quantidade de atuadores distribuídos ao longo do aparelho impossibilita um retorno háptico mais refinado e a configuração estrutural da tela impede que o celular obtenha informações sobre a magnitude da força de toque aplicada (3D touch), restringindo o escopo de aplicações possíveis que ele pode desempenhar. A impossibilidade de se proporcionar retorno tátil escalado à carga aplicada sobre sua superfície inviabiliza a transmissão de percepções mais elaboradas ao usuário, como sensação de rugosidade e rigidez [2].

Dessa maneira, o objetivo desse projeto é inferir a magnitude de uma força aplicada sobre a tela, por meio de um setup constituído por smartphone e um substrato, e, eventualmente, propiciar um feedback vibrotátil e visual proporcional, vislumbrando aplicações em simulações e “serious games”. Para tanto, foi desenvolvido uma rede neural e uma pipeline capaz de adquirir, tratar e transformar os dados dos sensores da IMU do dispositivo, realizando, ao fim, predições da massa que fora aplicada sobre a tela.

METODOLOGIA:

O setup experimental desse projeto consistiu no posicionamento do smartphone sobre um substrato (espuma) com constante elástica k e de viscosidade c, conforme figura 1. O plano xy do

sistema é paralelo ao da superfície lisa e retilínea sobre o qual ele está posicionado. Foram empregadas um conjunto de massas equivalentes a 50, 100, 150, 200 e 300 g, posicionadas em células específicas da tela discretizada do dispositivo, de maneira a prover uma deformação na espuma proporcional a força peso alocada.

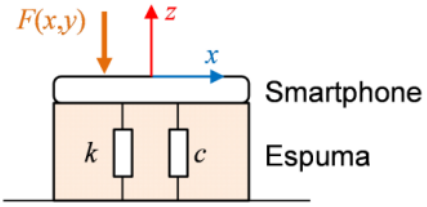


Figura 1: Setup do conjunto smartphone e substrato.

Para testes, foi desenvolvido um aplicativo a partir do Android Studio com API 30, permitindo compatibilidade com versões de Android até 11.0. O aplicativo foi construído com a linguagem Kotlin buscando cumprir dois objetivos:

1. Possibilitar etapas de calibração, aquisição e armazenamento dos respectivos dados coletados dos sensores da IMU (giroscópio e acelerômetro, rad/s e m/s² respectivamente);
2. Exibir células de uma interface discretizada 3x3, de maneira a viabilizar um regime de testes controlados.

A tela inicial do aplicativo, figura 2, possibilita ao usuário solicitar a aquisição dos sinais da IMU, ante a uma calibração. Esta se dá por meio da disposição do smartphone inerte sobre o substrato, ambos postos em uma superfície retilínea e pouco suscetível a vibrações. Durante um tempo pré-determinado, dados são coletados e, ao fim, um offset é adquirido e subtraído de todas novas aquisições. Após isso, toda coleta de dados solicitada pelo usuário é realizada por um tempo predeterminado por ele e armazenando os valores de tempo, aceleração linear e velocidade angular.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A ênfase maior do projeto foi posta sobre a análise e pós-processamento dos sinais adquiridos durante procedimento experimental, utilizando a linguagem Python.

Após estudos iniciais, verificou-se que os sinais do giroscópio eram bons discriminadores da distorção causada no substrato. A partir disso, foram desenvolvidos processos capazes de lidar com necessidades exigidas da aplicação, como correção de offset, Filtro de Kalman para integração dos sinais, aquisição das componentes DC e treinamento de modelos comparativos de clusterização e rede neural para predição da massa.

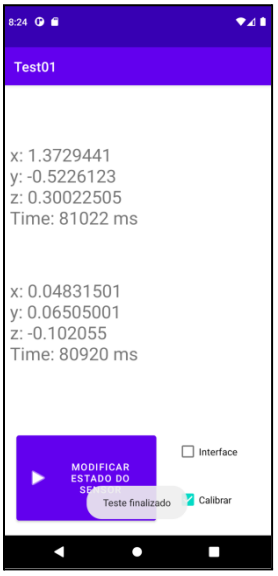
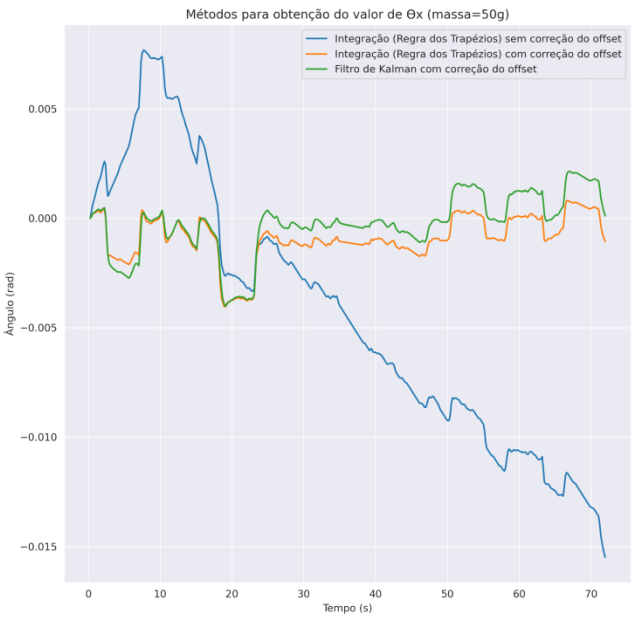


Figura 2: Tela inicial do aplicativo.

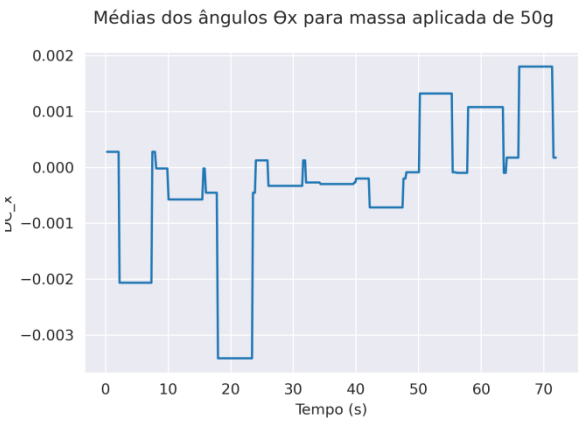
A etapa final consistiu na construção de um script capaz de, a partir dos dados da IMU, inferir a massa que foi aplicada. Os passos dessa pipeline são descritos na tabela abaixo:

Tabela 1 - Pipeline para inferência da massa aplicada sobre o dispositivo.

Etapa	Processo	Descrição
1	**Aquisição e sincronização de dados**	Os dados coletados pelo acelerômetro e giroscópio são carregados e linearmente interpolados em um único conjunto de dados.
2	**Correção do Offset e Filtro de Kalman**	Há subtração da média dos valores em alguns trechos (remoção do offset) e consequente aplicação do filtro de Kalman para, a partir da aceleração e velocidade angular, obter, respectivamente, a posição em metros e o ângulo em radianos [3], conforme figura 3.(a).
3	**Obtenção da componente DC**	Uma vez obtida a saída do Filtro de Kalman, é retirada a média segmento a segmento para obter as componentes DC, conforme ilustrado na figura 3.(b).
4	**Clusterização**	O modelo de clusterização escolhido foi o K-Means. Foram utilizadas as componentes DC e a posição/célula de aplicação da força como features. Essa etapa é meramente para prover meios comparativos de desempenho frente ao modelo de rede neural na inferência da massa.
5	**Redes neurais artificiais**	Para construção de um modelo de rede neural foi utilizada a API Keras. Como features [4][5] utilizamos a célula de aplicação, as componentes DC e os sinais suavizados pelo Filtro de Kalman, todos normalizados. O target foi estabelecido a partir da lógica de um problema de classificação, sendo a predição equivalente a algum dos elementos do conjunto de massas utilizadas para treino.



(a)



(b)

Figura 3: (a) Avaliação do desempenho do filtro de Kalman na obtenção dos sinais integrados do giroscópio no eixo x. (b) Componentes DC do eixo X dos sinais integrados do giroscópio.

Seguida essa pipeline, teremos ao fim a predição das massas aplicadas. Para um teste com grau de complexidade maior, posicionando massas distintas e durante intervalos de tempo distintos para cada célula, o modelo de clusterização alcançou precisão de 96%, enquanto a rede atingiu 93%, figura 4. Em termos gerais, a rede alcançou melhores resultados e capacidade de generalização, enquanto os centróides gerados tiveram respostas semelhantes e com menor dispersão.

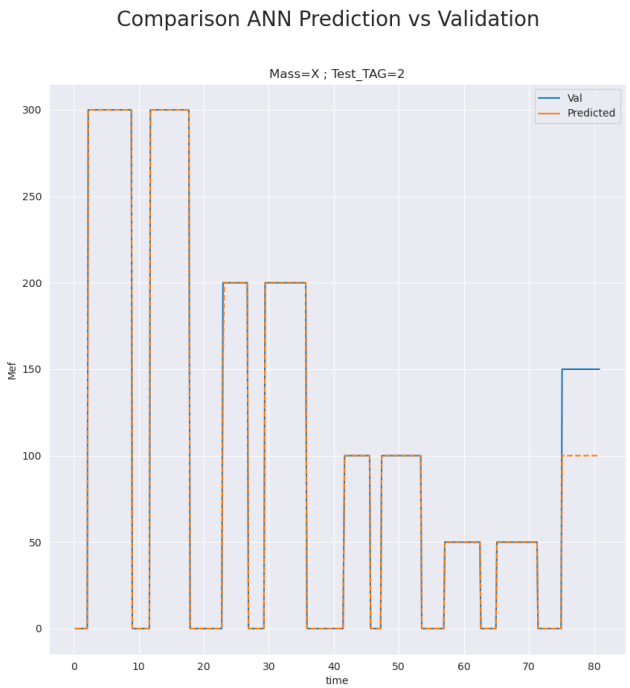


Figura 4: Comparação da massa real (em azul) *versus* a massa inferida pelo modelo de rede neural (em laranja).

CONCLUSÕES:

Os avanços conquistados são oriundos do desenvolvimento de um aplicativo capaz de atender as demandas necessárias dos experimentos com setup definido. O desenvolvimento de uma pipeline para pós-processamento dos dados da IMU demonstrou a capacidade de modelos treinados em predizer corretamente a massa aplicada. A partir de sinais dos sensores de um smartphone e deformação do substrato, é possível proporcionar ao usuário um feedback vibrotátil adequado à força aplicada sobre a tela. Esta etapa será concretizada em trabalhos futuros.

BIBLIOGRAFIA

[1] M. Sreelakshmi, T.D. Subash. **Haptic Technology: A comprehensive review on its applications and future prospects**. Mater. Today-Proc., v.4, pp.4182-4187, 2017.

[2] C. Nam, D. Shin. **Force-touch measurement methodology based on user experience**. Int. J. Distrib. Sens. N., v.14, 1550147718767794, 2018.

[3] Kim, Youngjoo & Bang, Hyochoong. (2018). **Introduction to Kalman Filter and Its Applications**. 10.5772/intechopen.80600.

[4] M. R. Ahsan, M. I. Ibrahimy and O. O. Khalifa, "**Electromygraphy (EMG) signal based hand gesture recognition using artificial neural network (ANN)**," 2011 4th International Conference on Mechatronics (ICOM), 2011, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICOM.2011.5937135.

[5] Chowdhury RH, Reaz MB, Ali MA, Bakar AA, Chellappan K, Chang TG. **Surface electromyography signal processing and classification techniques**. Sensors (Basel). 2013 Sep 17;13(9):12431-66. doi: 10.3390/s130912431. PMID: 24048337; PMCID: PMC3821366.