

Programa

AULA	CONTEÚDO	DATA [2ª/5ª]	PROFESSOR[A]
1	Apresentação dos experimentos e Introdução a sensores	1/8 e 4/8	Marcílio
2	Erros, resposta de sensores	8/8 e 11/8	Larissa
3	Filtro e FFT	15/8 e 18/8	Larissa
4	Sensores resistivos e circuitos	22/8 e 25/8	Larissa
5	Sensores capacitivos e circuitos	29/8 e 1/9	Larissa
6	Sensores indutivos-magnéticos e circuitos	12/9 e 15/9	Rafael
7	Sensores piezoelétricos e circuitos	19/9 e 22/9	Rafael
8	Sensores de imagem: DIC	26/9 e 29/9	Rafael
9	Sensores MEMS – UI	3/10 e 6 /10	Rafael
10	Revisão	10/10 e 13/10	Marcílio
11	Prova [nota Pr]	17/10 [noite]	Rafael
12	Revisão geral do experimento	24/10 e 27/10	Marcílio
13	Modelagem matemática do experimento [nota P1]	31/10 e 3/11	Marcílio
14	Projeto do sistema de medição I [nota P2]	7/11 e 10/11	Marcílio
15	Projeto sistema de medição II [nota P3]	21/11 e 24/11	Marcílio
16	Apresentação [nota P4]	28/11 e 1/12	Marcílio

$$\text{Média} = \text{Pr} / 3 + [\text{P1} + \text{P2} + \text{P3}] / 9 + \text{P4} / 3 + \text{Desafio} / 5$$

Bibliografia

- : Experimental Methods for Engineers, J.P. Homan, McGraw-Hill, 4a edição, 1984
- : Mechanical Measurements, T.G. Beckwith e R.D. Marangoni, Addison-Wesley, 4a edição, 1993
- : Notas de aula
- : Instrumentação e Fundamentos de Medidas, Vols. 1 e 2, A. Balbinot e V.J. Brusamarello, LTC, 2006
- : Practical Interfacing in the Laboratory, S.E. Derenzo, CUP, 2003
- : Handbook of Modern Sensors, 3rd ed., J. Fraden, Springer, 2004
- : Resistive, capacitive, inductive and magnetic sensor technologies, WY Du, CRC Press, 2015
- : Sensors, K Kalantar-zadeh, Springer, 2013

SISTEMAS DE 1ª E 2ª ORDEM - SENSORES

Este tutorial forma a base a partir do qual o seu Projeto de Instrumentação deve ser realizado. Enquanto preservando a criatividade, o tutorial tenta deixar claro os requisitos mínimos do projeto e dá indicações de como eles devem ser obtidos. Não menos importante, este tutorial dá indicações de como o projeto deve ser apresentado, o que deve ser medido, projetado, construído e explorado. Esforça-se também por indicar como o projeto será valorado e quais as suas diversas fases ao longo do curso.

Os sistemas de ordem 1 e 2, fisicamente e tipicamente representados por termopar e acelerômetros ou por circuitos RC e RCL, respectivamente, tiveram parte de sua teoria explicitadas nos cursos de Sistemas Dinâmicos I e neste próprio. Esta teoria precisa ser revista na sua primeira aula 1 de projeto usando Internet, livros e suas notas de aula anteriores. Dê atenção às equações que governam tais sistemas e às duas técnicas de solução: integração e transformada de Laplace. A partir daí, estude o caso de excitações harmônicas, impulsiva e função degrau.

Para a aula 2, tenha este material bem documentado e bem editado [eletronicamente]. Este material deve ser apresentado na Aula 2 para o seu professor, que atribuirá uma nota ao mesmo.

A aula 2 será para seu grupo projetar um circuito RC e um circuito RCL. O projeto deve incluir uma fonte de tensão harmônica, cuja frequência deve ser variável. Aqui você pode usar recursos como Arduino, componentes passivos, chips dedicados e LabView. A resposta de seu circuito às excitações senoidais deve ser captada em última instância na tela de seu Notebook. Isto pode ser feito através de osciloscópio portátil comprados a preços baixos e de sua responsabilidade. Você deve se preocupar aqui com os valores nominais dos componentes de seu circuito RC e RCL. Valores inadequados resultarão em ressonâncias a altas frequências e serão difíceis de serem medidas. Tente trabalhar na faixa de 10 Hz a 1000 Hz.

A aula 3 é uma continuação da Aula 2. Você deverá apresentar ao professor, para avaliação, seu projeto documentado e editado, relativo às atividades da aula 2.

A aula 4 servirá para a parte do projeto onde sensores serão o foco. Você receberá um termopar e um acelerômetro piezoelétrico. Você deverá projetar o circuito condicionador para estes instrumentos. Para o termopar, pode significar a necessidade de um circuito amplificador e para o acelerômetro, certamente, um circuito amplificador de carga. Nestes casos, projete o circuito e já se preocupe com a sua aquisição [placa de aquisição] a tempo para o final do semestre.

A aula 5 é uma continuação da aula 4. Nela deve-se também apresentar a documentação referente à Aula 4.

A aula 6 é a aula final do curso. Seu grupo fará uma apresentação longa, de 30 min., detalhando todo o seu procedimento experimental, os resultados, conclusões, dificuldades, etc. Você será avaliado pela qualidade da apresentação, incluindo postura e conteúdo. Nesta aula, o grupo deverá entregar o projeto final documentado, incluindo todos os equipamentos usados e desenvolvidos.

Desafio: Calibrar um acelerômetro. É apresentado ao grupo um acelerômetro e deseja-se determinar sua constante de calibração através do método da queda livre ou com shaker, usando-se exclusivamente o sistema de medição desenvolvido pelo grupo.

A Tabela a seguir dá uma visão geral das suas atividades.

Aula de Projeto	Atividade	Resultados esperados	Avaliação
1	Estudo teórico do problema	Conhecimento do problema	Não
2	Projeto do circuito RC e RCL	Compreensão do problema	Material de teoria editado, P1
3	Projeto do circuito RC e RCL	Planilha de cálculo para projeto do circuito	Projeto do circuito documentado, P2
4	Projeto com sensores	Projeto e seleção da placa de aquisição	Não
5	Projeto com sensores	Aquisição de sinais dos sensores	Projeto & seleção placa de aquisição documentado, P3
6	Apresentação	Apresentação	Apresentação e relatório final, P4 + Desafio

FILTROS E FFT

Este tutorial forma a base a partir do qual o seu Projeto de Instrumentação deve ser realizado. Enquanto preservando a criatividade, o tutorial tenta deixar claro os requisitos mínimos do projeto e dá indicações de como eles devem ser obtidos. Não menos importante, este tutorial dá indicações de como o projeto deve ser apresentado, o que deve ser medido, projetado, construído e explorado. Esforça-se também por indicar como o projeto será valorado e quais as suas diversas fases ao longo do curso.

Os sinais medidos quase sempre apresentam ruídos indesejáveis que precisam ser filtrados. Aproveite esta aula 1 de projeto para estudar os tipos de filtros principais. Pesquise também os filtros comerciais mais comuns e os circuitos integrados dedicados para filtros, incluindo preço e disponibilidade. Nesta aula 1 você deverá também revisar seus conceitos de série e transformada de Fourier e sua interação com as técnicas de filtragem. Dê atenção também a softwares tipo MatLab, que apresentam rotinas para filtragem e tratamento de sinais, eg sampling. Tente entender as diferenças, vantagens e desvantagens de filtro por software e por hardware. Reveja os conceitos de transformada de Fourier, operando-a com sinais fictícios em ambientes dedicados, tipo SciLab, MatLab ou LabView. A teoria pode ser revista usando Internet, livros e suas notas de aula.

Para a aula 2, tenha o material da Aula 1 bem documentado e editado [eletronicamente] para entrega. Também na aula 2, você deverá iniciar o projeto de seu sistema de medição. Objetiva-se gerar sinais bem comportados, tipicamente senoidais, triangulares e retangulares, a várias amplitudes e frequências na faixa de 1 Hz a 20 kHz. Isto pode ser feito com circuito a ser projetado e construído ou por placa dedicada de baixo valor a ser adquirida pelo grupo. Tais placas são de fato mini-geradores e registradores [osciloscópios]. Defina o que será adquirido e realize exercícios, em seu notebook, de filtragem e FFT de sinais em ambiente virtual. Considere também uso de Arduino ou placas similares. Note que o objetivo maior é gerar um sinal, aplicar filtros e FFT e visualizar os resultados na tela do Notebook. Isto implica em sistema de geração e aquisição de sinais. Tenha a preocupação de documentar seus procedimentos.

Utilize a documentação da Aula 2 para finalizar seu relatório na aula 3. O mesmo deve ser entregue nesta aula. Na aula 3, você deve iniciar o projeto de sua bancada de testes. Objetiva-se verificar as características dinâmicas de um sinal após a sua digitalização. O procedimento consiste em filtrar o sinal medido antes de digitaliza-lo, via portanto filtro analógico a ser projetado [nesta aula] e construído pelo grupo. Deve-se comparar este procedimento com o de filtrar o sinal após aquisição e digitalização, neste caso com o filtro sendo por software apenas.

Na aula 4, monte o sistema e o explore em termos de entrada, saída, captura do sinal, análise dos resultados, FFT, etc.

A aula 5 reserve para ajustes finais, início de redação do relatório final, preparação da apresentação, estudo de casos. Dê atenção à confiabilidade do sistema.

A aula 6 é a aula final do curso. Seu grupo fará uma apresentação longa, de 30 min., detalhando todo o seu procedimento experimental, os resultados, conclusões, dificuldades, etc. Você será avaliado pela qualidade da apresentação, incluindo postura e conteúdo. Nesta aula, o grupo deverá entregar o projeto final documentado, incluindo todos os equipamentos usados e desenvolvidos.

Desafio: Operar com sinais de 1 MHz

A Tabela a seguir dá uma visão geral das suas atividades.

Aula de Projeto	Atividade	Resultados esperados	Avaliação
1	Estudo teórico	Conhecimento do problema	Não
2	Projeto do Sistema de Medição	Compreensão do problema	Material de teoria editado, P1
3	Documentação da teoria	Planilha de cálculos; procedimentos de filtragem	Projeto do sistema de medição documentado, P2
4	Projeto de filtros e procedimentos de entrada/saída	Planilha de cálculos; procedimentos de filtragem	Não
5	Testes, análises, transformada	Planilha de cálculos; transformada	Projeto & seleção placa de aquisição documentado, P3
6	Apresentação	Apresentação	Apresentação e relatório final, P4 + Desafio

EXTENSÔMETROS

Este tutorial forma a base a partir do qual o seu Projeto de Instrumentação deve ser realizado. Enquanto preservando a criatividade, o tutorial tenta deixar claro os requisitos mínimos do projeto e dá indicações de como eles devem ser obtidos. Não menos importante, este tutorial dá indicações de como o projeto deve ser apresentado, o que deve ser medido, projetado, construído e explorado. Esforça-se também por indicar como o projeto será valorado e quais as suas diversas fases ao longo do curso.

Extensômetros, ou strain gauges, ou sg, são sensores de uso geral na engenharia de medição. Eles podem medir deformações tão pequenas que sua resolução pode ser comparada a 1 passo entre SP e RJ. É possível a construção de vários tipos sensores, todos baseados no princípio de medir deformações. Pode-se, por exemplo medir o peso, a frequência, a pressão, a força, a vazão, etc.

Nesta experiência, o objetivo é desenvolver uma balança para medição do peso de uma pessoa. A ideia é usar 4 extensômetros e dar liberdade para a pessoa se posicionar em qualquer região da plataforma. O resultado da pesagem deve ser de fácil visualização e preocupação com design será levada em consideração. Para um controle mais automatizado do peso, os valores medidos devem ser transmitidos para o celular do usuário. A manipulação dos dados medidos, eg cálculo da média do peso ao longo de uma semana ou curva peso vs dia, devem ser objeto do aplicativo.

Aproveite a aula 1 de projeto para estudar os tipos de balança. Não se restrinja a balanças para massas de pessoas, mas faça incursões em medidas de nanogramas a toneladas, à medição de massa de partículas à de aviões. Detenha-se nos circuitos típicos associados a sg, preocupando-se com amplificação, fonte de alimentação, ruídos, filtros e transmissão do sinal para o celular.

Para a aula 2, tenha este material bem documentado e bem editado [eletronicamente] para entrega. Também na aula 2, você deverá iniciar o projeto de seu sistema de medição. Tem-se aqui três frentes: design, circuitos e aplicativo. Decida-se sobre projeto, construção, compra de circuitos condicionadores para sg e verifique itens como digitalização e comunicação com o celular [bluetooth].

Utilize a documentação da Aula 2 para finalizar seu relatório na aula 3. O mesmo deve ser entregue nesta aula. Você deve também finalizar o projeto dos circuitos de sg e amplificação, avançando bastante na parte de filtro e comunicação. Aja em grupo, com distribuição de tarefas. Leve em consideração o software, incluindo sua aparência e facilidade de uso.

Na aula 4, monte o sistema e o explore em termos de entrada, saída, captura do sinal, análise dos resultados, etc. Inicie a calibragem e opere o software, verificando sua confiabilidade.

A aula 5 reserve para ajustes finais, calibragem, início de redação do relatório, preparação da apresentação, estudo de casos. Dê atenção à confiabilidade do sistema.

A aula 6 é a aula final do curso. Seu grupo fará uma apresentação longa, de 30 min., detalhando todo o seu procedimento experimental, os resultados, conclusões, dificuldades, etc. Você será avaliado pela qualidade da apresentação, incluindo postura e conteúdo. Nesta aula, o grupo deverá entregar o projeto final documentado, incluindo todos os equipamentos usados e desenvolvidos.

Desafio: Medir peso de uma pessoa enquanto ela “caminha” pela balança, mostrando a variação da força no celular.

A Tabela a seguir dá uma visão geral das suas atividades.

Aula de Projeto	Atividade	Resultados esperados	Avaliação
1	Estudo teórico	Conhecimento do problema	Não
2	Estudo teórico do problema	Compreensão do problema	Material de teoria editado, P1
3	Projeto do sistema de medição, desenhos de fabricação, início do software	Projeto de circuitos em ponte com amplificação e balanceamento	Projeto do sistema de medição documentado, P2
4	Montagem do sistema, testes preliminares, testes de comunicação e software	Balança funcionando parcialmente	Não
5	Calibragem, testes, análises, confiabilidade	Balança funcionando e acoplada ao software	Projeto & seleção placa de aquisição documentado, P3
6	Apresentação	Apresentação	Apresentação e relatório final, P4 + Desafio

Absorvedor

Este tutorial forma a base a partir do qual o seu Projeto de Instrumentação deve ser realizado. Enquanto preservando a criatividade, o tutorial tenta deixar claro os requisitos mínimos do projeto e dá indicações de como eles devem ser obtidos. Não menos importante, este tutorial dá indicações de como o projeto deve ser apresentado, o que deve ser medido, projetado, construído e explorado. Esforça-se também por indicar como o projeto será valorado e quais as suas diversas fases ao longo do curso.

Absorvedores de vibração podem ser de vários tipos, com princípios construtivos diferentes. Nesta experiência, o objetivo é desenvolver um absorvedor dinâmico de vibrações, ADV, baseado num sistema equivalente a duas massas e suas molas. Construtivamente, o arranjo é de uma viga vibrando pela atuação de um motor de celular, a diferentes frequências. Adaptado a esta viga, tem-se uma segunda viga com uma massa concentrada móvel. À medida que a frequência de vibração se altera, pela mudança da rotação do motor do celular ou por acréscimo proposital e manual de massa, é necessário re-sintonizar a frequência natural da viga acessória. Isto é feito pela movimentação de uma massa, atuada também por um motor de celular ou equivalente. A identificação do nível de vibração da viga principal se dará por medições feitas por strain gauges, colados em pontos apropriados da viga principal.

Aproveite a aula 1 de projeto para estudar os tipos de absorvedores de vibração, inclusive os baseados em eletromagnetismo e materiais reológicos. O material de referência desta aula será usado nos relatórios da Aula 2 e final.

Na aula 2, você deverá iniciar o projeto de seu sistema. Considere a modelagem matemática da viga engastada e da viga absorvedora. Decida-se sobre projeto, construção, compra de motores, circuitos para sg [converse com o grupo de Extensômetros]. Verifique itens de movimentação mecânica, controle PWM, incluindo repetitividade, desenhos em CAD e confiabilidade. Entregue também o Relatório 1, baseado em seus estudos na Aula 1.

Na aula 3, você deve almejar finalizar o projeto mecânico e dos circuitos de sg, amplificação, filtro e comunicação. Aja em grupo, com distribuição de tarefas e leve em consideração o software para controle de posição da massa/viga. Apresente relatório sobre Aula 2 e parte da Aula 3.

Na aula 4, inicie a montagem do sistema e o explore em termos de entrada, saída, captura do sinal, análise dos resultados, resposta, etc. Termine os itens faltantes do projeto ou encaminhe as soluções para a Aula 5.

A aula 5 reserve para ajustes finais, redação do relatório desta aula, preparação da apresentação, estudo de casos. Dê atenção à confiabilidade do sistema.

A aula 6 é a aula final do curso. Seu grupo fará uma apresentação longa, de 30 min., detalhando todo o seu procedimento experimental, os resultados, conclusões, dificuldades, etc. Você será avaliado pela qualidade da apresentação, incluindo postura e conteúdo. Nesta aula, o grupo deverá entregar o projeto final documentado, incluindo todos os equipamentos usados e desenvolvidos.

Desafio: Fazer software que permita controlar rotação dos motores, posicionamento da massa, leitura dos extensômetros e registro das imagens do sistema.

A Tabela a seguir dá uma visão geral das suas atividades.

Aula de Projeto	Atividade	Resultados esperados	Avaliação
1	Estudo teórico	Conhecimento do problema	Não
2	Estudo teórico do problema	Compreensão do problema	Material de teoria editado, P1
3	Projeto do absorvedor de vibrações, do sistema de medição, da comunicação e do software	Relatório parcial	Projeto do sistema de medição documentado, P2
4	Projeto do absorvedor de vibrações, do sistema de medição, da comunicação e do software	Movimentação da massa e variação da frequência	Não
5	Testes, análises, montagem	Sistema funcionando	Projeto & seleção placa de aquisição documentado, P3
6	Apresentação	Apresentação	Apresentação e relatório final, P4 + Desafio

DIC

Este tutorial forma a base a partir do qual o seu Projeto de Instrumentação deve ser realizado. Enquanto preservando a criatividade, o tutorial tenta deixar claro os requisitos mínimos do projeto e dá indicações de como eles devem ser obtidos. Não menos importante, este tutorial dá indicações de como o projeto deve ser apresentado, o que deve ser medido, projetado, construído e explorado. Esforça-se também por indicar como o projeto será valorado e quais as suas diversas fases ao longo do curso.

O projeto de absorvedores de energia cinética, tipicamente as chamadas CrashBoxes, é área importante da engenharia. A teoria que a fundamenta é relativamente desenvolvida e será usada extensivamente neste projeto. Ao mesmo tempo, é notório que a área de análise de imagens, para fins de medição de deformação, está em franco desenvolvimento. Neste trabalho, junta-se estes dois temas de modo a se proceder a análise, experimento com filmagem a alta velocidade, de tubos impactados axialmente. O objetivo é determinar o perfil de força versus deformação tanto via imagem como por célula de carga convencional.

Na aula 1 de projeto deve-se estudar os principais sistemas de absorção de energia cinética, com a realização de cálculos básicos das energias envolvidas. Isto será usado para o cálculo dos parâmetros do teste de impacto. Uma apostila lhe será fornecida e servirá de base teórica para o fenômeno de flambagem progressiva, presente nos principais tipos de absorvedores cinéticos.

Use a aula 2 para definir as condições iniciais do teste. Atenção deve ser dado à instrumentação. Obtenha informações sobre frequência de corte, taxa de aquisição, tipo de célula de carga. Faça também nessa aula uma simulação por elementos finitos do problema e tenha uma noção melhor das forças e taxa de deformação envolvidas. Para tanto, instale o ABAQUS Student Version em seu Notebook.

Para a aula 3, tenha este material bem documentado e bem editado [eletronicamente] para entrega. Este material deve ser apresentado na Aula 2 para o seu professor, que atribuirá uma nota ao mesmo. A Aula 3 é para aprender a operar o programa de análise de imagens. Use filmes fornecidos para obter informações de velocidade de impacto, deformação e sua taxa.

Na aula 4 monte o sistema e faça testes preliminares, com a aula 5 ficando reservada para o teste final, início de redação do relatório, preparação da apresentação, estudo de casos. Dê atenção à confiabilidade do sistema e contextualize seu trabalho com acidentes veiculares. Na Aula 5, use também uma câmera de alta velocidade para daí tentar obter as forças e deslocamentos envolvidos.

A aula 6 é a aula final do curso. Seu grupo fará uma apresentação longa, de 30 min., detalhando todo o seu procedimento experimental, os resultados, conclusões, dificuldades, etc. Você será avaliado pela qualidade da apresentação, incluindo postura e conteúdo. Nesta aula, o grupo deverá entregar o projeto final documentado, incluindo todos os equipamentos usados e desenvolvidos.

Desafio: Medir a força e deslocamento pela imagem.

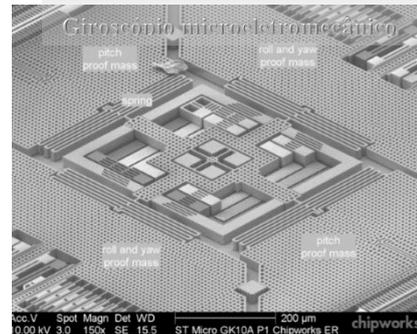
A Tabela a seguir dá uma visão geral das suas atividades.

Aula de Projeto	Atividade	Resultados esperados	Avaliação
1	Estudo teórico da flambagem progressiva: crash boxes	Conhecimento do problema	Não
2	Estudo teórico do problema	Compreensão do problema	Material de teoria editado, P1
3	Documentação da teoria, aprender software ABAQUS	Relatório parcial	Estudo da apostila de flambagem, P2
4	Projeto dos tubos, cálculos, definição das massas e velocidade.	Projeto definido, tubos fabricados	Não
5	Testes, análises, montagem, uso da câmera de alta velocidade	Sistema em operação, câmeras e iluminação ajustadas	Projeto & seleção placa de aquisição documentado, P3
6	Apresentação	Apresentação	Apresentação e relatório final, P4 + Desafio

UI: Unidade Inercial

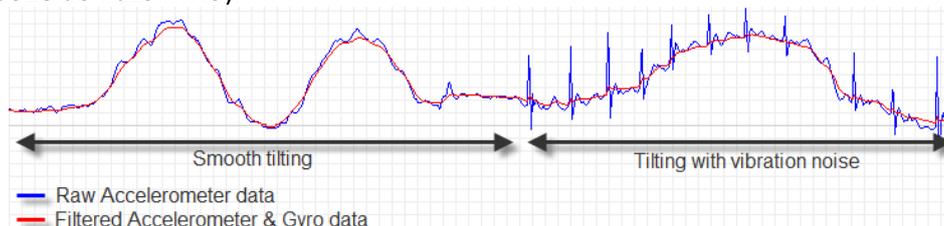
Este tutorial forma a base a partir do qual o seu Projeto de Instrumentação deve ser realizado. Enquanto preservando a criatividade, o tutorial tenta deixar claro os requisitos mínimos do projeto e dá indicações de como eles devem ser obtidos. Não menos importante, este tutorial dá indicações de como o projeto deve ser apresentado, o que deve ser medido, projetado, construído e explorado. Esforça-se também por indicar como o projeto será valorado e quais as suas diversas fases ao longo do curso.

Sensores inerciais são imprescindíveis no setor automotivo, espacial, incluindo o lançamento em órbita de satélites artificiais e a sua operação, o sensoriamento sísmico de alta resolução. O transporte de bens e valores e a capacidade militar de defesa dependem de navegação confiável e precisa. Outros importantes nichos de aplicação são os dispositivos portáteis como GPS (Global Positioning System), smartphones, notebooks; e aplicações médicas relacionadas ao movimento humano e para a estimulação elétrica funcional dos membros superiores.



Uma IMU, Inertia Measurement Unity, geralmente é constituída por um acelerômetro e um giroscópio. A grande maioria dos modelos conta ainda com um magnetômetro e alguns poucos contam com barômetro e termômetro. A comunicação entre a IMU e o microcontrolador, microprocessador ou CLP pode ser feita em diferentes protocolos: I²C, SPI, USART, CAN.

A IMU pode ser utilizada para determinar a trajetória de um objeto no espaço, com o giroscópio determinando a orientação e o acelerômetro sendo utilizado para obter o deslocamento. Apesar de parecer simples em teoria, existem problemas na prática. Apesar do giroscópio dever mostrar como saída a velocidade angular de 0 quando está em repouso, na realidade a saída tende a um valor médio não nulo. Como devemos integrar a saída do sensor (velocidade angular) para medir o ângulo, qualquer offset DC pode se acumular e levar o ângulo de giro a variar enquanto o sensor está parado (drift). Já o acelerômetro tende a um valor médio nulo em repouso, entretanto apresenta um ruído de amplitude considerável. Daí o uso de filtros capazes de “data fusion”, ou seja, utiliza ambos sinais de acelerômetro e giroscópio para determinar a posição da IMU. Exemplos destes filtros são o filtro complementar, filtro de Kalman, filtro de Mahony & Madgwick e filtro de Premerlani & Bizard (<http://www.olliv.eu/2013/imu-data-fusing/>). A necessidade dessa fusão dos dados provenientes dos sensores é tamanha que muitos já vem com um coprocessador de movimento (como o Microchip MM7150, Bosch BNO055) ou com um microprocessador programável embutidos (Como o Cortex M0+ do Bosch BMF055 ou do ATmega328 do Razor IMU).



Nesta experiência o objetivo é estudar a IMU (calibragem, comunicação, filtros, variação da resposta em frequência) e utilizá-la como sensor principal em um SBR (self balancing robot). O robô SBR deve permanecer estático e ser “imune” a perturbações.

O grupo deve adquirir/fabricar os elementos do SBR, tipo Arduino, servomotores, bluetooth, IMU. Deve ser projetado e construído suporte (usinagem em PVC ou impressora 3D) capaz de suportar a IMU, um acelerômetro, etc. Esse suporte deve ser “copiado” para o programa PROCESSING como um objeto virtual que se movimenta como o real, além de plotar em tempo real os gráficos dos valores raw e após aplicação de diferentes filtros. Aproveite a aula 1 de projeto para estudar as IMUs e diferentes filtros. Faça uma tabela comparativa das mais diversas IMUs comerciais, avaliando preço, resolução, tipos de filtro passabaixa em hardware, co-processadores, frequência máxima de operação. Além disso, faça revisão bibliográfica dos tipos de filtros para sensor fusion. Por fim, comece um brainstorm do seu SBR.



Para a aula 2, tenha o material da Aula 1 bem documentado e editado [eletronicamente] para entrega. Ainda na aula 2, você deverá terminar o projeto de seu suporte e do seu SBR. Tem-se aqui três frentes: design, circuitos e aplicativo. Decida-se sobre projeto, construção, compra de componentes. Inclua na medida do possível o que for relevante no relatório desta aula.

Na aula 3, você deve fabricar seu SBR e o suporte (este pode ser feito em uma impressora 3D previamente), além de aprender a usar o software PROCESSING, representando seu suporte com um objeto gráfico 3D e construindo gráficos. Você também deve entregar o relatório da Aula 2 mais os itens possíveis desta aula 3.

Na aula 4, monte o sistema, suporte, IMU, laser e faça experimentos para obter a curva de resposta em frequência. Além disso, implemente no mínimo 3 filtros no seu microprocessador/microcontrolador e plote os resultados no processing mostrando também os valores RAW.

Na aula 5 devem ser calibradas as constantes do PID do SBR e devem ser feitos os ajustes finais, início de redação do relatório, preparação da apresentação, estudo de casos.

A aula 6 é a aula final do curso. Seu grupo fará uma apresentação longa, de 30 min., detalhando todo o seu procedimento experimental, os resultados, conclusões, dificuldades, etc. Você será avaliado pela qualidade da apresentação, incluindo postura e conteúdo. Nesta aula, o grupo deverá entregar o projeto final documentado, incluindo os equipamentos usados e desenvolvidos.

Desafio: Fazer o SBR se movimentar como um segway.

A Tabela a seguir dá uma visão geral das suas atividades.

Aula de Projeto	Atividade	Resultados esperados	Avaliação
1	Estudo teórico	Compreendendo IMUs e Filtros	Não
2	Projeto e documentação	Projeto do suporte e do SBR	Material de teoria, P1
3	Programação e fabricação	SBR construído e representação 3D no processing	Material de teoria, P2
4	Medir da curva de resposta em frequência e implementação de diferentes filtros	Resposta em frequên. e gráficos comparand raw-filtros	Não
5	Calibração do PID do SBR, testes e ajustes finais	SBR pronto	Projeto & seleção placa aquisição, P3
6	Apresentação	Apresentação	Apresentação, relatório final, P4 + Desafio