



Trabalho de Conclusão de Curso

Uma Abordagem de Fusão de Dados Multisensores em Dispositivos IoT para Jogos Sérios Esportivos

Erivaldo Lourenço Mariano
elm@ic.ufal.br

Orientador:
Prof. Dr. Rafael de Amorim Silva

Maceió, Junho de 2020

Erivaldo Lourenço Mariano

Uma Abordagem de Fusão de Dados Multisensores em Dispositivos IoT para Jogos Sérios Esportivos

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação do Instituto de Computação da Universidade Federal de Alagoas.

Orientador:

Prof. Dr. Rafael de Amorim Silva

Maceió, Junho de 2020

Catlogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

M333a Mariano, Erivaldo Lourenço.
Uma abordagem de fusão de dados multisensores em dispositivos IoT para jogos sérios / Erivaldo Lourenço Mariano. – 2020.
36 f. : il. ; figs. ; tabs. color.

Orientador: Rafael de Amorim Silva.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Ciência da Computação) –
Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Computação. Maceió, 2020.

Bibliografia: f. 34-36.

1.Fusão de sensores. 2. Jogos sérios. 3. Internet das coisas. I. Título.

CDU: 004

Agradecimentos

A Deus, por todas as bênçãos diárias que ele tem me proporcionado, sendo esta graduação uma de suas belas obras na minha vida. A minha família, na pessoa de minha mãe amada, Maria de Fátima Mariano, que me abençoa em oração todos os dias e é a quem devo as maiores riquezas da minha vida, meus valores e sonhos. As minhas irmãs queridas Sara Mariano e Dayana Mariano, obrigado por toda torcida, carinho e cada momento juntos.

Não poderia deixar de agradecer ao meu professor e orientador Rafael Amorim, por ter sido tão paciente e prestativo. Também agradeço à Fernanda Lins por todo apoio e incentivo que fizeram toda diferença para conclusão deste trabalho.

Muitas amizades importantes foram construídas neste longo período de graduação, quero deixar meus agradecimentos a cada uma delas. Meus amigos do NTI, Jonatas Gonzaga, Francielle Mayce e Raul Sales, pelos momentos especiais juntos, Marcelo Queiroz por cada oportunidade e confiança. Fabricio Carvalho por cada conversa e disponibilidade para sanar minhas muitas dúvidas. Um agradecimento especial ao André Domarques, por cada conversa embaixo da árvore, em diversos fins de tarde, e que me fizeram ser um profissional melhor. Aos amigos que fiz no LCCV, agradeço ao André Alécio pela parceria e confiança em meu trabalho, ao Rodrigo Pinheiro pela primeira oportunidade e por ter sido o canal que me levou a conhecer todos estes bons amigos que citei.

“E um deles, vendo que estava são, voltou glorificando a Deus em alta voz; e caiu aos seus pés, com o rosto em terra, dando-lhe graças; e este era samaritano. E, respondendo Jesus, disse: Não foram dez os limpos? E onde estão os nove? Não houve quem voltasse para dar glória a Deus senão este estrangeiro? E disse-lhe: Levanta-te, e vai; a tua fé te salvou.”

– Lucas 17:15-19

“Tecnologia é qualquer coisa que não estava por aí quando você nasceu”

– Alan Kay

Resumo

Este trabalho apresenta uma abordagem de fusão de sensores no âmbito dos jogos sérios e Internet das Coisas. Para tal, buscou-se usar sensores importantes que estão presentes em um smartphone (acelerômetro e giroscópio). Foi criado um app que captura os dados destes sensores no smartphone. A metodologia é dividida em: entrada, processamento e resultado. Na entrada, o usuário simula o movimento de uma jogada de tênis, os dados do giroscópio e acelerômetro são armazenados em um arquivo com layout pré-definido, estes dados são usados na etapa de processamento. Durante o processamento, o arquivo com os dados dos sensores é processado, retirando informações desnecessárias e é executado a fusão das informações dos sensores, por um filtro complementar, e as informações de dois sensores se tornam uma. Nos resultados, os dados do movimento do usuário são submetidos a um classificador KNN que já tem uma base com movimentos da jogada de profissionais, e é feita uma classificação para cada ponto gerado. Em seguida, uma estimativa da proximidade do movimento do usuário amador para o profissional é apresentada.

Palavras-chave: Fusão de sensores, Serious Games, Internet das Coisas

Abstract

This work presents a sensor fusion approach in the realm of serious games and internet of things. For this I tried to use important sensors that are present in a smartphone (accelerometer and gyroscope). For this, an app was created that captures the data of these sensors on the smartphone. The methodology is divided into: input, processing and result. At the entrance, the user simulates the movement of a tennis move, the data from the gyroscope and accelerometer are stored in a file with a predefined layout, these data are used in the processing step. During processing, the file with the sensor data is processed, removing unnecessary information and the sensor information is merged by a complementary filter, and the information from two sensors becomes one. In the results, the user's movement data is submitted to a KNN classifier that already has a base with professional movement movements, and a classification is made for each point generated. Then, an estimate of the proximity of the movement of the amateur user to the professional is presented.

Keywords: Sensor Fusion, Serious Games, Internet of Things

Conteúdo

Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	vii
1 Introdução	1
1.1 Introdução	1
2 Fundamentação Teórica	4
2.1 Serious Games	4
2.2 Internet das coisas	5
2.2.1 Arquitetura IoT	8
2.2.2 Elementos IoT	10
3 Problemática	13
3.1 Trabalhos Relacionados	13
3.1.1 Tele-Rehabilitation Serious Game	13
3.1.2 Learning cultural heritage by serious games	14
4 Proposta	16
4.1 Multisensores em Smartphones	16
4.1.1 Giroscópio	17
4.1.2 Acelerômetro	17
4.2 Modelo para Fusão de Dados Multisensores	18
4.2.1 Filtro Complementar	18
5 Implementação	20
5.1 Descrição do cenário	20
5.2 Ferramentas Utilizadas	21
5.3 Metodologia	21
6 Resultados e Discussões	29
6.1 Fusão de Sensores	29
6.2 KNN	31
7 Considerações Finais	33
Referências bibliográficas	34

Lista de Figuras

2.1	Projeção do mercado em domínios IoT	8
2.2	Modelos de arquitetura IoT	9
2.3	Elementos IoT	10
3.1	Cenário 1	13
3.2	Cenário 2	14
3.3	Exemplos de jogos com foco em cultura	15
4.1	Filtro complementar	19
5.1	Movimento backhand	20
5.2	Movimento spin	21
5.3	Metodologia	22
5.4	Arquivo de dados	23
5.5	Fusão de sensores	24
5.6	Classificação KNN	27
6.1	Acelerômetro X Filtro Passa-Baixa	29
6.2	Giroscópio X Filtro Passa-Alta	30
6.3	Acelerômetro X Giroscópio X Filtro Complementar	31
6.4	Distribuição da classificação de um mesmo ponto em cada arquivo da base. A plotagem mostra os eixos X e Y destes pontos.	32

Lista de Tabelas

5.1	Classificação de coordenadas	26
6.1	Resultados do classificador	31

1

Introdução

1.1 Introdução

Pesquisas indicam que os primeiros jogos ou competições são datados de 2600 a.C.[[Djaouti et al. \(2011\)](#)]. Jogos fazem parte da natureza humana independentemente de raça, cor ou cultura. Um exemplo dessa universalidade dos jogos são os eventos esportivos, como o Jogos Olímpicos que une países de todos os continentes em competições que além de aproximar e entreter pessoas, movimentam um mercado financeiro em torno dos esportes, gerando uma cadeia profissional que vai de produtos manufaturados dos mais diversos tipos, até jogos eletrônicos como muita tecnologia e pesquisa aplicada[[Klopper et al. \(2009\)](#)].

Nos últimos tempos, o mercado de jogos eletrônicos alcançou uma expressividade muito forte e em uma velocidade exponencial o universo dos games cresce em todo o mundo. Com isso, o ramo do entretenimento movimenta fortunas, gera empregos e financia as mais diversas pesquisas em tecnologia de computação. Há muita discussão sobre a origem do primeiro jogo eletrônico criado, mas sabe-se que os primeiros jogos não tinham a finalidade de entreter o grande público e serviam apenas como ferramentas para simular um determinado ambiente em uma pesquisa. Posteriormente, os jogos eletrônicos com fins de aprendizado e simulação, passaram a ser chamados de jogos sérios[[Abt \(1987\)](#)].

Diferentemente dos jogos eletrônicos tradicionais, que criou um ramo de entretenimento e atende a jovens e adultos com jogos apenas com uma finalidade lúdica, os jogos sérios estão diretamente ligados ao aprendizado, à pesquisa e à simulação de ambientes para treinamento. Exemplos como simuladores de voo para treinamento de pilotos, ou ainda um carro simulador para autoescola tentam apresentar uma imitação operacional da atividade real, demonstrando que os jogos sérios podem auxiliar o aprendizado das mais diversas atividades. A construção desses jogos limita-se apenas à tecnologia e à criatividade e com o surgimento da internet da coisas uma nova seara de jogos sérios podem ser criados.

A internet das coisas - IoT - Internet of Things - define um conceito de conexão entre objetos físicos com o usuário e a internet. Para estabelecer essas conexões emprega-se os mais diversos tipos de sensores inteligentes, como o sensor de toque nos smartphones, além de softwares para coletar os dados destes sensores, tratá-los e em seguida transmiti-los, possibilitando o controle de outros dispositivos na rede a partir de um dispositivo móvel. O smartphone é um gadget muito importante para a IoT, visto que ele possui uma variedade de sensores que podem ser explorados na construção de soluções tecnológicas[Dijkman et al. (2015)].

Tendo como norte os conceitos de jogos sérios e internet das coisas, este projeto selecionou um jogo que possibilitasse o uso do smartphone e de seus sensores para a pesquisa. O esporte escolhido foi o tênis. Uma modalidade esportiva olímpica, jogado em quadra e que pode ser praticado individualmente, quando duas pessoas, em lados opostos da quadra se enfrentam, ou em dupla. O espaço é dividido igualmente por uma rede e o objetivo é rebater uma pequena bola para além da rede na quadra do oponente, este movimento de ataque à bola é feito com uma raquete. Existem muitas maneiras de ataques a essa bola, e as jogadas com a raquete podem ser realizadas com movimentos bem definidos. A precisão na execução destes movimentos influenciará no resultado desejado. Ou seja, se uma jogada é realizada com movimentos incorretos, as chances de erro e vantagem do adversário são maiores.

Em linhas gerais, objetivo desse trabalho é apresenta uma solução que auxilia jogadores amadores de tênis em seu treinamento, lhes fornecendo uma métrica em porcentagem que indica a proximidade do seu movimento comparado aos de um jogador profissional. Para isso, o jogador simula o movimento da jogada, a raquete é substituída pelo smartphone, e com o app desenvolvido, os dados de dois sensores (giroscópio e acelerômetro) são capturados e inseridos em um arquivo com uma formatação pré-definida. Nesse contexto, dois objetivos específicos, a fusão de dados dos sensores e a classificação do resultado dessa fusão, foram postos como etapas do objetivo geral a ser alcançado.

Os dados coletados pelo aplicativo desenvolvido neste trabalho são tratados e para torná-los mais confiáveis e reduzir os ruídos, eles foram passados por um filtro complementar. A base de dados da pesquisa foi composta por 9 atletas profissionais e 11 amadores que simularam duas jogadas de tênis, o backhand e o spin, e os arquivos gerados pelo app formaram essa base. Para estabelecer métricas de comparação para o jogador, utilizamos um algoritmo de classificação - KNN - que categorizou cada valor capturado dos sensores para, no fim, o jogador ser informado o quão próximo a sua jogada está de um profissional.

Este trabalho foi estruturado da seguinte maneira: uma fundamentação teórica estabelecendo um panorama das áreas nas quais o trabalho está inserido - serious games e internet das coisas. Em seguida, na seção de problemática, apresentamos alguns trabalhos relacionados ao tema discutido neste trabalho, onde o leitor poderá entender qual o nível dos trabalhos e pesquisas desta área de conhecimento. A seção de proposta é dividida em:

Multisensores em Smartphones e Modelo para Fusão de Dados Multisensores. Na primeira encontra-se uma introdução à importância dos smartphones, sua relevância para a sociedade atual e como são categorizados os sensores no smartphone. Na segunda seção, ao falar do Modelo de Fusão de Dados, além de apresentar a definição, explicamos porque é importante fundir os dados que serão capturados do acelerômetro e do giroscópio. O modelo escolhido foi o filtro complementar e as características deste modelo foi discutida também nessa seção.

A seção de implementação expõe o cenário trabalhado durante a pesquisa, o que foi construído, as ferramentas utilizadas e a metodologia empregada. Por fim, na etapa dos resultados foram apresentadas as saídas de cada filtro e como foi feita a classificação com o KNN. Também foram expostos gráficos que compararam os valores capturados pelo app e os valores que passaram pelo filtro, além da discussão sobre como cada filtro se comportou, analisando as funções matemáticas.

2

Fundamentação Teórica

2.1 Serious Games

Apesar do termo ser utilizado na literatura e nas pesquisas, existe uma discussão sobre se o termo serious games é realmente apropriado, pois alguns dizem que a palavra sério do termo, pode dar uma conotação não séria a trabalhos com fins científicos e importantes para pesquisas de simulação. Vários trabalhos já demonstraram que jogos eletrônicos podem ser úteis na educação, por exemplo. No artigo Moving learning games forward , os autores buscaram traçar um caminho para interessados em desenvolver jogos para aprendizagem, mostrando que este mercado é promissor e viável[Klopfer et al. (2009)]. Como este, outros trabalhos na área da saúde [Lieberman (2001)], Defesa [Popescu et al. (2013)] e outros, evidenciam a utilidade do emprego de jogos sérios.

Em uma tradução literal para o Português, jogos sérios é um termo que seu uso tem registros ainda na época do Renascimento [Djaouti et al. (2011)]. No entanto, jogos sérios com o significado mais atual, aparece pela primeira vez no livro Serious Games, [Abt (1987)] escrito por Clark Abt (1970). Abt foi um pesquisador americano que ficou conhecido por formalizar o conceito de jogos sérios. Neste trabalho ele apresentou como jogos esportivos, RPG's - que não são necessariamente jogos eletrônicos - e jogos de computador podem ser usados como meios para idéias educativas, políticas ou de marketing.

Abt Também ajudou a desenvolver um jogo de computador, o T.E.M.P.E.R, usado por militares para estudar na Guerra Fria e conflitos em escala global. Uma definição clara de jogos sérios dada por Abt é "Os jogos podem ser jogados com seriedade ou casual. Estamos preocupados com jogos sérios, no sentido de que esses jogos têm um objetivo educacional explícito e cuidadosamente pensado e não se destinam a ser jogados principalmente por diversão. Isso não significa que jogos sérios não sejam ou não devam ser divertidos"[Abt (1987)] .

Apesar de ser uma terminologia recente — alguns autores [Crookall (2010)] consideram o ano de 2002 como ponto de partida, depois do lançamento e sucesso popular do jogo *America's Army* —, muitos jogos com propósitos sérios foram projetados antes dessa data e antes até do primeiro videogame e primeiro sucesso comercial, o *Pong*, da Atari, em 1972. Já em 1951 na Inglaterra, com o advento de um dos primeiros computadores, o Manchester Mark I, era possível rodar vários programas criados por cientistas da computação. Um exemplo foi Dietrich Prinz, um cientista da computação que programou um jogo de xadrez em que a máquina poderia enfrentar um humano.

Os jogos sérios não necessariamente têm que estar associados a tecnologias de computação. Um trabalho do Centro Tecnológico da Universidade Positivo, desenvolveu um jogo da modalidade RPG chamado “Poder e Decisão”. Este jogo tem a finalidade de ensinar os alunos do curso de Direito como é estruturado os poderes do Brasil - Executivo, Legislativo e Judiciário. Os pesquisadores do projeto, percebendo que os alunos ficam frequentemente desmotivados nas aulas, mas se engajam em jogos, eles desenvolvem este jogo que é uma atividade prazerosa ao mesmo tempo que estimula habilidades através das tarefas realizadas no jogo. [B. Luiz (2014)]

No início, os jogos que já tinham propósito não meramente de entretenimento, eram principalmente para atividades como: ilustrar uma pesquisa científica, treinar profissionais e transmitir uma mensagem [Djaouti et al. (2011)]. Quando a finalidade é o treinamento, além do aprendizado, também gera uma redução de custos, pois é muito mais barato treinar um piloto em um simulador que em um avião real. Além disso, para fins de aprendizado, usar jogos gera engajamento, já que é muito mais atrativo o ensino baseado em jogos em vez de apenas aulas tradicionais. Esta abordagem que se utiliza de jogos para modelar problemas ou até simular ambientes reais para diversos fins, então, é uma excelente alternativa de aprendizado e investimento.

2.2 Internet das coisas

Grande parte das tecnologias se desenvolveram no meio militar, e com a internet não foi diferente. Criada em 1969, no meio da Guerra Fria, a ARPNET, como foi chamada, tinha o propósito de interligar laboratórios de pesquisa. A ARPNET pertencia ao Departamento de Defesa dos Estados Unidos, e a comunicação entre os laboratórios e bases militares não era afetada caso um dos centros fossem bombardeados. Em 1982, o uso da ARPNET, que era restrito aos EUA, passou a ser incorporado a outros países, como Holanda, Dinamarca e Suécia. Desde de então, essa rede ganhou o mundo e é chamada de internet.

A abertura da exploração comercial da internet, proporcionou um grande crescimento da rede. Em 1990, Tim Berners-Lee apresentou uma proposta formal para o que viria ser a World Wide Web. O intuito de Berners-Lee era tornar mais prático o compartilhamento de

informações entre os colegas pesquisadores. A WWW começou a ser utilizada para colocar informações ao alcance de qualquer pessoa com acesso à internet, e assim, em 1992, vários provedores de internet começaram a surgir. Desde então as pessoas têm se conectado cada vez mais a internet, a ponto de ser considerado pelo governo um serviço essencial, equiparando à água e energia elétrica.

Pesquisas feitas pela União Internacional de Telecomunicações (UIT), agência ligada à Organização das Nações Unidas (ONU), apontam que cerca de 4,3 bilhões de assinaturas banda larga foram realizadas globalmente até o fim de 2017, após um crescimento de 20% desde de 2012. O relatório mostra que 48% da população mundial usa a internet, se considerar os jovens de 15 a 24 anos essa proporção é de 78% [ONU (2020)].

No Brasil, cerca de 70% da população tinha acesso à internet em 2018, isso que vale a 126,9 milhões de pessoas. Os brasileiros fazem uso da internet principalmente pelo smartphone, mas também pelo computador e SmarTV[Domicílios (2018)]. A interação do usuário com dispositivos que conectam a internet ficam cada vez mais acentuadas. Serviços que conectam diversos dispositivos e colocam estas “coisas” para trabalharem juntas proporcionando experiências únicas já são uma realidade.

Neste sentido, a Internet das Coisas(IoT) é considerada a internet do futuro conectando bilhões de coisas de maneira inteligente. O grande mérito dessa nova área de pesquisa é o fato de que ela busca conectar objetos que usamos no dia a dia, aproximando assim o mundo físico do digital cada vez mais. O esperado é que a internet das coisas revolucione as interações humanas com as tecnologias vigentes, a ideia de ter uma infinidade de dispositivos das mais variadas formas e funcionalidades, conectados e interagindo, gera uma expectativa empolgante tanto para quem vai usufruir quanto para as possibilidades de futuro dessa tecnologia promissora.

O termo internet das coisas é uma tradução direta de internet of things (IoT) que foi cunhado em 1999 por Kevin Ashton, do Massachusetts Institute of Technology (MIT), quando escreveu o artigo As coisas da internet das coisas, Ashton observou, em 1999, que as pessoas têm rotinas cada vez mais intensas que implicam em uma escassez de tempo, surgindo a necessidade de se conectar à internet das maneiras mais distintas, simples, funcionais e com dispositivos já não convencionais, como os computadores mais tradicionais.

Em 1991, na Universidade de Cambridge, acadêmicos compartilhavam uma cafeteira onde eles trabalhavam. Pesquisadores que estavam alocados em andares inferiores ao da cafeteira ficavam decepcionados quando subiam até o andar da cafeteira e a encontravam vazia. Por isso, construíram um sistema que capturava três imagens da cafeteira em um minuto e as imagens eram transferidas para um computador que as disponibilizava na web. Assim, cada pesquisador poderia consultar a quantidade de café na cafeteira antes de se deslocar até o eletrodoméstico. Este pode ser considerado o primeiro exemplo da “Internet das Coisas”[Atzori et al. (2010)].

Durantes todos esses anos de estudos e pesquisa em internet das coisas, várias definições

foram apresentadas. O nome composto por dois termos “internet” e “coisas” acabou gerando aparentes imprecisões em suas definições, já que dependendo do interesse do grupo envolvido nessa definição, a perspectiva abordada era orientada para o termo “internet”, ou para o termo “coisas”. Uma definição orientada às coisas é dada em [Dijkman et al. (2015)], “A internet das coisas é a conexão de objetos do mundo físico, equipados com sensores, atuadores e tecnologia de comunicação”. Entendemos a definição dada por [Gubbi et al. (2013)], como sendo a que de uma maneira técnica define melhor internet das coisas: “Internet das coisas é uma interação de objetos inteligentes e redes de comunicação inteligente, inclui ferramentas próprias de armazenamento, computação, visualização e interpretação de sistemas para análise de dados”.

No artigo Internet of Things: A Survey, de 2016 [Atzori et al. (2010)], os autores explicam que internet das coisas é composta por três componentes principais: ativos, redes e sistemas de computador. Vamos usar como exemplo uma rede de etiquetas inteligente de roupa que, entre outras coisas, percebe que sua peça de roupa está fora do seu setor por mais tempo que deveria. Todas as etiquetas que estão no setor se comunicam em uma rede mesh, que usa o protocolo RFID (identificação por radiofrequência) por exemplo. Neste cenário, os ativos são as etiquetas, a rede é um mesh com RFID e os sistemas podem identificar a peça que saiu do setor analisando os dados que trafegam nessa rede. Quando entendemos cada componente e a importância de cada um para a internet das coisas, percebemos que IoT só é possível graças a tecnologias como o RFID, WSN, Middleware, entre outras.

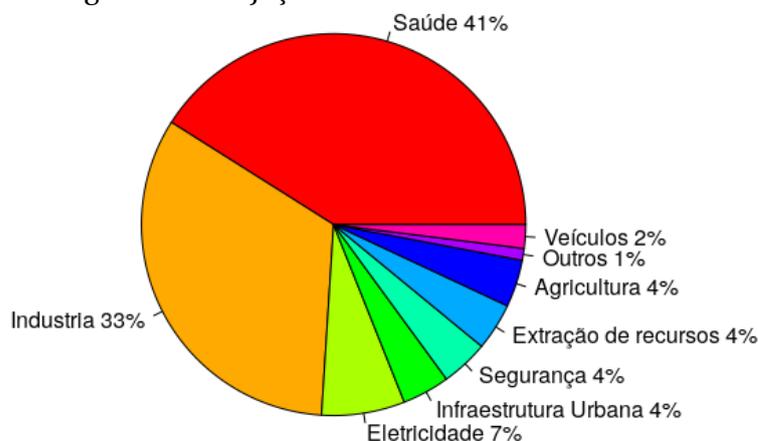
A internet das coisas veio pra ficar. Um estudo da Ericsson [Ericsson (2016)] aponta que a tecnologia irá superar a quantidade de smartphones conectados, chegando a 28 bilhões de dispositivos em 2021. O gigante da internet, o Google, já apresentou um novo sistema operacional, o Android Things, voltado para dispositivos com hardware mais simples, que têm pouco poder de processamento e pouca memória, como câmeras de segurança, roteadores domésticos e etc. Este é mais um passo para manter os dispositivos mais conectados. O Android já é utilizado por aproximadamente 2 bilhões de pessoas no mundo em seus smartphones e, por isso, não é surpresa a quantidade de apps que apresentam soluções de IoT para seu smartphone. Um exemplo simples, é a possibilidade de estender a tela do smartphone para a smart TV, apenas com o arrastar de um dedo.

Os desenvolvedores de app's, fabricantes de equipamentos e provedores de serviços de internet podem encontrar na internet das coisas uma grande oportunidade de mercado. Estima-se aproximadamente 212 bilhões de objetos IoT implantados até o final de 2020 [Gantz and Reinsel (2012)]. Até 2022 o tráfego de máquina-para-máquina(M2M) irá compor 45% do fluxo de toda internet, além disso nos últimos 5 anos, o número de máquinas conectadas cresceram 300% [Manyika et al. (2013)]. Serviços baseados em IoT tem expandido cada vez mais, os setores de saúde e da indústria projetam maior impacto econômico. Aplicativos relacionados a saúde, como saúde móvel (m-Health) e telecare (Tele Atendimento), que permitam a prevenção, diagnóstico e tratamento de maneira remota por meios eletrô-

nicos, podem gerar cerca de US\$ 1,1 a US\$ 2,5 trilhões em crescimento na economia global por ano até 2025 [Manyika et al. (2013)]. A figura mostra o impacto que cada mercado projetada nas aplicações de IoT [Manyika et al. (2013)].

Os desenvolvedores de apps, fabricantes de equipamentos e provedores de serviços de internet podem encontrar na internet das coisas uma grande oportunidade de mercado. Estima-se aproximadamente 212 bilhões de objetos IoT implantados até o final de 2020 [Gantz and Reinsel (2012)]. Até 2022 o tráfego de máquina-para-máquina (M2M) irá compor 45% do fluxo de toda internet, além disso nos últimos 5 anos, o número de máquinas conectadas cresceu 300% [Manyika et al. (2013)]. Serviços baseados em IoT tem expandido cada vez mais, os setores de saúde e da indústria projetam maior impacto econômico. Aplicativos relacionados à saúde, como saúde móvel (m-Health) e telecare (Tele Atendimento), que permitam a prevenção, diagnóstico e tratamento de maneira remota por meios eletrônicos, podem gerar cerca de US\$ 1,1 a US\$ 2,5 trilhões em crescimento na economia global por ano, até 2025 [Manyika et al. (2013)]. A figura 2.1 mostra o impacto que cada mercado, projetado nas aplicações de IoT [Manyika et al. (2013)].

Figura 2.1: Projeção do mercado em domínios IoT



2.2.1 Arquitetura IoT

O crescimento exponencial de dispositivos IoT que chegará a conectar bilhões ou até trilhões de objetos através da internet, desperta o interesse em padronizar essas conexões em dispositivos tão heterogêneos. Existem muitas tentativas de criar uma arquitetura comum para resolver este problema. Dos vários modelos propostos, o mais básico é o de três camadas que são: aplicação, rede e percepção. Um modelo de cinco camadas incorpora os conceitos da arquitetura de três camadas, porém adiciona mais abstração em seu modelo. Observe na figura uma comparação entre esses dois modelos. Em seguida, uma breve discussão das cinco camadas. [Al-Fuqaha et al. (2015)]

Figura 2.2: Modelos de arquitetura IoT



Camada de objetos

A primeira camada é a camada de objetos ou dispositivos, no modelo de 3 camadas essa camada é chamada de camada de percepção. É nesta camada que estão os dispositivos que percebem o ambiente, sensores e atuadores, exercem diferentes funções como capturar temperatura do ambiente ou checar a localização ou ainda medir aceleração ou vibração. Esta camada digitaliza essas informações e transmite de maneira segura para a próxima camada, é nesta fase que é gerado o grande volume de dados da IoT.

Camada de abstração de objeto

Nesta camada são transferidos os dados recebidos da camada anterior a camada de Gerenciamento de Serviço. Esta transferência pode ser feita a partir de diversas tecnologias como RFID, 3G, GSM, UMTS, WiFi, Bluetooth Low Energy, infravermelho, ZigBee, etc. A camada de Gerenciamento de Serviço não sabe qual é o tipo de dispositivo que pertence aqueles dados, pois a camada anterior abstraiu essa informação dela.

Camada de Gerenciamento de Serviço

A camada de gerenciamento de serviço, ou também chamada de Middleware, permite que programadores trabalhem com estruturas heterogêneas sem considerar o tipo de hardware dos dispositivos. Ela processa os dados recebidos da camada anterior e entrega os serviços necessários através de protocolos de rede.

Camada de aplicação

É na camada de aplicação que os clientes irão interagir, aqui é possível para o cliente solicitar a temperatura do ambiente e a aplicação apresentar o valor. A importância dessa

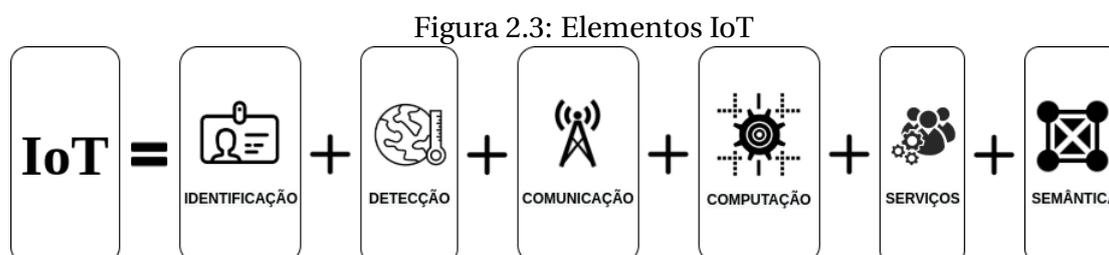
camada está em fornecer serviços inteligentes para atender as necessidades do cliente. Os mercados de residência inteligente, transporte, teleatendimento e etc, estão compreendidos nessa camada.

Camada de negócios

Nesta camada é possível gerenciar e analisar os dados gerados pelo sistema IoT. Essa camada pode gerar um modelo de negócio, gráficos, fluxogramas e etc, baseado em dados fornecidos pela camada de aplicação. Isso permite o processo de tomadas de decisões com base na análise destes dados.

2.2.2 Elementos IoT

Iremos discutir sobre os elementos do IoT ilustrados na figura, são seis elementos que irá possibilitar uma melhor compreensão do significado de IoT e suas funcionalidades. [Al-Fuqaha et al. (2015)]



Identificação

Em IoT a identificação dos dispositivos podem ser feita de diversas maneiras, como códigos eletrônicos de produto (EPC) e códigos onipresentes (uCode). A identificação do produto está diretamente ligada ao nome que é dado a ele, podendo ser feita uma convenção de identificação, para sensores de temperatura o ID iniciaria sempre com T seguido de um número que o identifica T1 (Sensor de temperatura 1). Além da identificação dos dispositivos, o endereçamento é importante para localizá-los, isso tem sido feito principalmente com protocolo de rede IPv6.

Detecção

Os dispositivos de detecção podem ser sensores, atuadores ou dispositivos vestíveis. Os dados coletados podem ser usados para serviços específicos, por exemplo, aplicativos em smartphones permitem o controle de dispositivos variados em um prédio, como câmeras e sensores de presença. A detecção em IoT é responsável por coletar os dados de objetos relacionados e enviar para uma base.

Comunicação

A comunicação em IoT é feita por diversos dispositivos distintos entre-si e por protocolos variados. Normalmente essa comunicação é feita com um baixo consumo de energia, devido a características de hardware destes dispositivos. Dentre os protocolos mais usados estão o Bluetooth, Wi-Fi, IEEE 802.15.4, onda Z e LTE-Advanced. Tecnologias como RFID, NFC (Near Field Communication) e largura de banda ultra-larga (UWB) também são bastante difundidas.

Computação

Hoje, muitas plataformas de hardware voltadas para o desenvolvimento de soluções IoT estão disponíveis, como Arduino, UDOO, FriendlyARM, Intel Galileo, Raspberry PI, Gadgeteer, BeagleBone, Cubieboard, Z1, WiSense, Mulle e T-Mote Sky. Microcontroladores e microprocessadores compõem essas plataformas que fornecem uma interface para desenvolvimento de aplicações, eles representam o cérebro e a capacidade computacional de uma estrutura IoT.

Serviços

Os serviços de IoT podem ser classificados em:

- Serviços relacionados à identidade
 - São os serviços que trazem objetos do mundo real para o mundo virtual, identificando-os.
- Serviços de agregação de informações
 - Coletam dados sensoriais brutos, esses dados são processados e tratado para em seguida ser enviado ao aplicativo IoT.
- Serviços com reconhecimento de colaboração
 - Usam os dados obtidos no serviço de agregação para tomar decisões e reagir de acordo.
- Serviços ubíquos
 - Estes visam fornecer serviços com reconhecimento de colaboração a qualquer momento que sejam necessários para quem precisa deles em qualquer lugar.

Semântica

A definição de semântica é o estudo do significado, em IoT semântica é a capacidade de dar significado aos dados que são extraídos dos dispositivos na rede. Alguns dos esforços da rede de internet, estão voltado para um tecnologias de Web Semântica, como o RDF (Resource Description Framework) e a Web Ontology Language (OWL).

3

Problemática

3.1 Trabalhos Relacionados

Existe uma comunidade no mundo todo dedicada ao estudo da fusão de sensores e da abordagem com serious games para apresentar soluções aos mais variados problemas, que vão desde a criação de um recurso para trazer resultados mais precisos a um tratamento de reabilitação motora, por exemplo, como também melhorar o desempenho esportivo de um atleta.

3.1.1 Tele-Rehabilitation Serious Game

Um sistema de reabilitação músculo-esquelético foi criado para que fosse possível ao paciente fazer tratamento de fisioterapia na comodidade de sua casa, possibilitando ao médico monitorar o progresso do paciente como em um jogo. Neste trabalho [Tannous et al. (2017)] foram inseridos dois cenários de jogos sérios, onde o paciente reproduzia, com o uso das câmeras de um kinet e uma Unidades de movimento inercial (IMU), os movimentos de um avatar. Esses movimentos foram capturados e com a fusão dos sensores foi desenvolvida uma melhor a precisão cinemática do movimento de reabilitação.

Figura 3.1: Cenário 1



A figura 3.1 mostra uma cena de futebol cujo o objetivo é atingir um dos cones, ao girar o corpo o paciente modifica a posição do ponteiro, ele tem q verificar se o ponteiro está na região e depois de fazer estas verificações ele chuta a bola. O objetivo deste jogo é reabilitar membros inferiores e o equilíbrio dos pacientes.

No cenário dois, um avatar também imita o paciente, o objetivo aqui é mover a flor de um jarro para outro, trocando a flor de uma mão para outra, treinando assim os membros superiores, como podemos ver na figura 3.2.

Após os testes, o especialista recebe os resultados para serem avaliados. Três tipos de resultados são apresentados: vídeos que apresentam o movimento do paciente, gráfico dos ângulos das juntas entre os membros do corpo e estatísticas de exercícios que mostram a evolução do paciente através de vários testes de exercícios.

Figura 3.2: Cenário 2



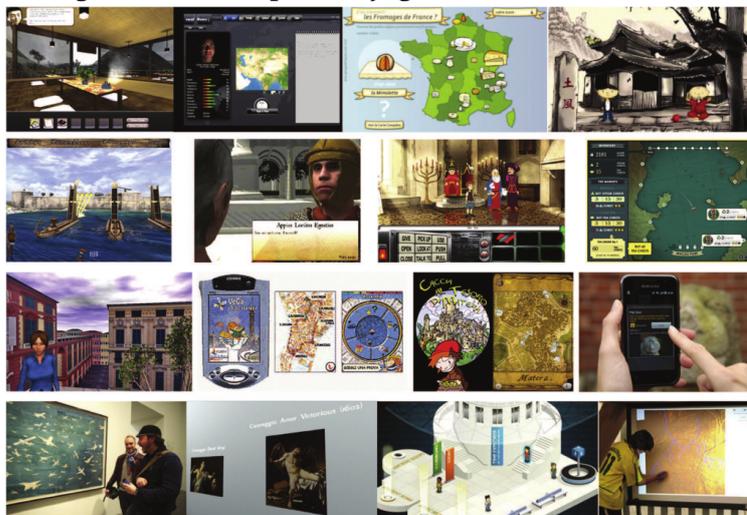
3.1.2 Learning cultural heritage by serious games

No âmbito da cultura, o mundo virtual permite que o grande público aprecie o conteúdo cultural remoto através de simulações digitais, proporcionando uma imersão em tempos e ambientes diversos, podendo inserir o espectador na cultura romana por exemplo. Apesar desse mecanismo ser poderoso, não deixa o grande público em um estado ativo de aprendizado. Por este motivo este trabalho discute o estado da arte dos jogos sérios na âmbito da cultura, apresentando vários exemplos de jogos já disponíveis.

Três aspectos (objetivo de aprendizado, gênero e contexto) são discutidos, mostrando um retrato da oferta de jogos sérios no setor cultural ná época do trabalho, ver figura 3.3. No fim, algumas considerações para um projeto de serious games mais eficaz é apresentada.

[Mortara et al. (2014)]

Figura 3.3: Exemplos de jogos com foco em cultura





Proposta

Com o auxílio de dados obtidos por meio de sensores, é possível ordenar e organizar os dados gerando assim informação, estas informações podem gerar conhecimento para os mais diversos fins. Saber como alcançar cada uma dessas fases e entender seus processos é de extrema importância. Neste capítulo entendemos o porquê da escolha de cada sensor utilizado e compreendemos o modelo de fusão de sensores.

4.1 Multisensores em Smartphones

Os smartphones são gadgets amplamente difundidos na nossa sociedade. Um relatório da Global System Mobile Communication (GSMA) aponta que mais de 5,1 bilhões de pessoas utilizam algum tipo de celular no mundo. Com o passar dos anos e avanço da tecnologia, estes aparelhos ganharam sensores dos mais variados e para as mais diversas funções.

Há algumas décadas os celulares se tornaram máquinas modernas e capazes de desempenhar funções que antes só eram executadas por computadores. Hoje, a capacidade de processamento de um smartphone permite aos usuários desempenhar funções que exigem um hardware mais robusto, como a edição de fotos e vídeos.

Os sensores são dispositivos que percebem as alterações no ambiente, detectando e coletando os dados para os quais foram criados. Por exemplo, o sensor de proximidade responde à presença, até sem contato físico, de qualquer pessoa ou objeto.

É comum categorizarmos os sensores em três grupos:

- Sensores de movimento
- Sensores de ambiente
- Sensores de posição

De acordo com a documentação Android Developer [Developer (2020)], “os sensores de movimento são úteis para monitorar o movimento do dispositivo, como inclinação, trepidação, rotação ou giro” e nessa categoria estão incluídos sensores como acelerômetro, sensor de gravidade e giroscópio.

Já os sensores de ambiente são aqueles que captam mudanças no meio, como sensores de pressão, temperatura e umidade. Nos smartphones, os sensores que pertencem a este grupo são: barômetro, fotômetro e termostato que têm a função de detectar variações de pressão, luz e temperatura, respectivamente.

Os sensores de posição são um mecanismo que percebe a presença ou aproximação de algo no seu campo de atuação. Um exemplo de sensor nessa categoria, é o sensor que percebe que o smartphone está próximo da orelha e apaga a tela do mesmo.

Para este trabalho iremos utilizar dois sensores na categoria dos sensores de movimento, o giroscópio e o acelerômetro.

4.1.1 Giroscópio

O giroscópio é um dispositivo que percebe as mudanças de direção de objeto em movimento. A princípio, foi criado para substituir a bússola de agulha magnética, mas hoje é utilizado em diversas aplicações, como na navegação marítima e na aviação, servindo de girocompasso (uma bússola que identifica o norte verdadeiro através da eletricidade) e também de piloto automático. Outra função é o auxílio na navegação de espaçonaves.

Este sensor usa a força da gravidade para dizer em que posição um objeto está no espaço. Nos smartphones, ele consegue identificar a posição e direcionamento quando gira-se o aparelho em torno do seu próprio eixo. A explicação para isso é que o giroscópio tem a propriedade de não mudar a sua direção original, como um bússola que sempre aponta para o Norte, independentemente, das tentativas de opor a sua orientação.

4.1.2 Acelerômetro

O acelerômetro é um dispositivo capaz de determinar aceleração em um, dois ou três eixos (x, y e/ou z). As acelerações medidas por um acelerômetro são aquelas a que ele está submetido, ou seja, obrigatoriamente o acelerômetro tem que estar fixado ao corpo que terá sua aceleração mensurada.

O funcionamento de um acelerômetro, pode ser explicado com a segunda Lei de Newton que define: “A força aplicada a um corpo é produto da massa do corpo pela sua aceleração” ($F = ma$), ou seja, podemos através da informação de aceleração de um corpo, descobrir a intensidade que está sendo aplicada sobre ele. Na prática, isso permite a criação de aplicações como ligar a lanterna do celular só com o balançar do aparelho.

4.2 Modelo para Fusão de Dados Multisensores

Os autores Franklin E. White, em seu artigo *Data Fusion Lexicon*, definiram a fusão de dados como sendo: "um processo para lidar com a associação, correlação e combinação de dados e informações provenientes de múltiplas fontes para alcançar estimações refinadas da posição e identidade. A fusão de dados procura fazer avaliações oportunas e completas de situações e ameaças, e seu significado. O processo é caracterizado por contínuos refinamentos das estimativas e avaliações, e da avaliação da necessidade de fontes adicionais, ou a modificação do processo em si mesmo, para conseguir resultados melhorados". [White (1991)]

Então, a fusão de dados reúne métodos e técnicas para coletar informações de diferentes dispositivos e tem o objetivo de resultar em uma melhor qualidade dos dados observados, além de diminuir as chances de erros, uma vez que os dados são recebidos de fontes diversas e, se combinados de forma efetiva, garantem mais precisão e uma representação mais integral do que está sendo avaliado.

Neste trabalho foi escolhido um modelo de fusão de dados que consegue de maneira precisa filtrar os dados dos sensores - giroscópio e acelerômetro -, retirando os ruídos e contornando as imprecisões que existem em cada um deles, como se um equilibrasse as possíveis distorções do outro.

Quando observamos os métodos de filtros existentes, podemos categorizá-los em dois grupos: um deles contém os modelos de filtros complementares e o outro grupo os filtros relacionados ao Filtro de Kalman. O filtro complementar foi o método selecionado para esta pesquisa. Apesar do Filtro de Kalman ser mais sofisticado e ter grande variedade de aplicações e recursos, demanda uma complexidade de operações com matrizes, o que exigiria hardwares mais robustos [Wu et al. (2016)].

4.2.1 Filtro Complementar

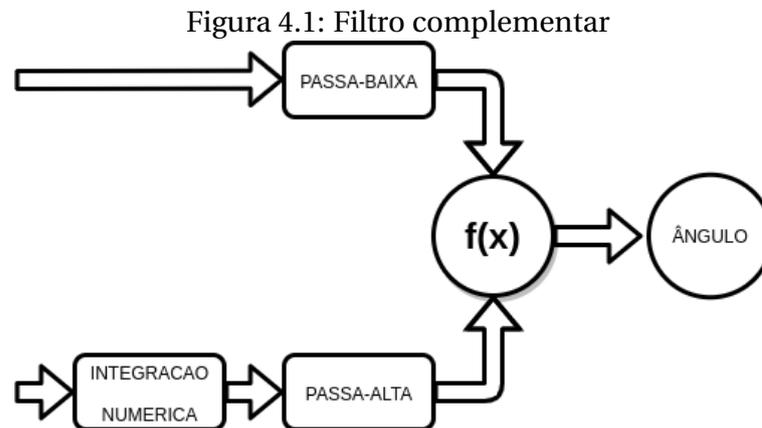
Cada um dos sensores escolhidos para este estudo, giroscópio e acelerômetro, tem sua especificidade. O acelerômetro, por exemplo, é confiável em indicar orientação em situações estáticas, enquanto o giroscópio é um bom indicador de inclinação em condições dinâmicas.

Como a pesquisa é baseada em uma jogada de tênis, os dados coletados pelo acelerômetro passarão por um filtro passa-baixa, onde será possível descartar os valores mais altos, uma vez que o movimento brusco faz com que o jogador saia de uma situação estática - quando o acelerômetro capta informação de maneira mais confiável - muito rápido.

Já os dados do giroscópio, que atua de maneira mais precisa em situações dinâmicas, passarão por um filtro passa-alto que deve considerar as coordenadas captadas em situação de movimento do atleta.

Em ambos os filtros, o objetivo é que o resultado reflita uma situação de normalidade, os prováveis ruídos dos sensores sejam descartados, além da possibilidade de uma maior confiabilidade nos testes posteriores.

A imagem 4.1 ilustra:



Filtro passa-Baixa

Um filtro passa-baixa permite passar apenas sinais de longa duração, ele atenua os valores alto e deixa passar os valores baixo, filtrando as flutuações de curto prazo. [Sayers (1998)]

Filtro passa-alta

Os filtros passa-alta podem amplificar sinais, de maneira oposta ao filtro passa baixa, este permite a passagem de sinais com valores alto. [Sayers (1998)]

5

Implementação

Iremos implementar um app para Android que captura os dados dos sensores de movimento do smartphone. Através do modelo de fusão de sensores filtro complementar iremos estimar o quão próximo o movimento de uma jogada de um tenista amador está do movimento de um tenista profissional.

5.1 Descrição do cenário

Por entendermos que o tênis é o esporte que mais se adequa a nosso experimento, já que podemos observar os padrões de jogadas e movimentos específicos do esporte, como o Backhand (quando o jogador golpeia a bola com as costas da palma da mão voltada para rede) e o Spin (jogada em que o atleta, com a raquete voltada para baixo, bate na bola e a faz girar em torno de si mesma), este esporte será nosso objeto de estudo.

Confira as ilustrações das jogadas abaixo:

Figura 5.1: Movimento backhand



Figura 5.2: Movimento spin



A premissa do trabalho é que teremos um jogador especialista que terá suas jogadas e movimentos gravados no aplicativo e, assim, poderão ser comparados às jogadas de um tenista amador, avaliando, por meio de uma escala de 0 a 100%, a precisão das jogadas e o quão próximo a execução do movimento está da performance do profissional.

5.2 Ferramentas Utilizadas

Depois de uma pesquisa sobre quais ferramentas poderiam ser utilizadas para fazer este experimento de usabilidade do cenário descrito anteriormente, escolhemos implementar este aplicativo para smartphones com sistema operacional Android na versão 9, pois o mesmo disponibiliza os recursos e sensores necessários para esse experimento.

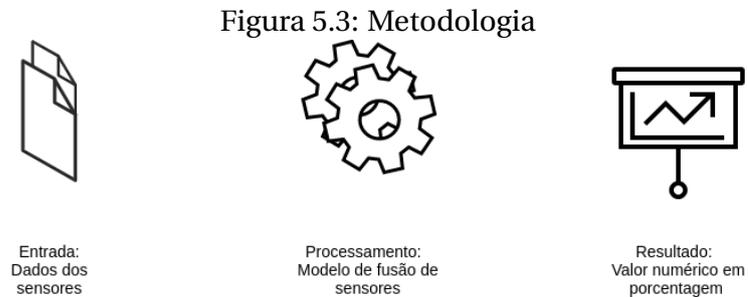
A codificação do app para captura dos dados dos sensores é feita na linguagem JAVA que é uma das linguagens com suporte na documentação oficial do Sistema Android. Além disso, por ser uma linguagem nativa do S.O, temos um ganho de performance significativo. Também utilizamos neste trabalho a IDE oficial do sistema, Android Studio.

Para o tratamento e processamento dos dados utilizamos a linguagem Python. Esta linguagem foi escolhida por ser moderna e com uma grande comunidade ativa. Amplamente utilizada em Data Science, ela também possui muitas bibliotecas focadas em tratamento e mineração de dados, assim como bibliotecas de apresentação de conteúdos como gráficos, das quais foram utilizadas neste projeto, a biblioteca Matplotlib (biblioteca para plotar gráficos) e Scikit-learn (conjunto de ferramentas para análise preditiva de dados).

5.3 Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho é dividida em três etapas: Entrada, Processamento e Resultado. Na primeira etapa, os dados dos sensores são capturados. É neste momento

que os dados são formatados de maneira adequada para em seguida serem usados como entrada na função de fusão de dados. Na última etapa, o resultado é analisado e a através de um algoritmo de classificação o usuário é classificado.



Entrada

Esta etapa consiste em usar os dados dos sensores acelerômetro e giroscópio. A classe responsável pela manipulação desses dados é a `SensorManager`, com ela podemos acessar os valores dos três eixos de rotação (x, y, z), como segue este recorte em JAVA:

```
package br.ufal.ic.tenismontor;

import android.hardware.Sensor;
import android.hardware.SensorEvent;
import android.hardware.SensorEventListener;
...

public class MainActivity extends AppCompatActivity implements
    SensorEventListener{

    private SensorManager sensorManager;
    private Sensor acc;

    ...
    sensorManager = (SensorManager) getSystemService(Context.SENSOR_SERVICE);
    acc = sensorManager.getDefaultSensor(Sensor.TYPE_ACCELEROMETER);
    ...

    sensorManager.registerListener(MainActivity.this, acc,
        SensorManager.SENSOR_DELAY_GAME);

}
```

```
public void onSensorChanged(SensorEvent event) {  
    Sensor sensor = event.sensor;  
    if (sensor.getType() == Sensor.TYPE_ACCELEROMETER) {  
        Log.d(TAG, "Valores: "+ event.values);  
    }  
}
```

Através da função `SensorEvent` conseguimos capturar a força de aceleração ao longo dos eixos x, y e z, incluindo a gravidade. De maneira similar, alterando apenas o tipo de sensor (`TYPE_GYROSCOPE`) podemos capturar os dados do giroscópio, que irá retornar a taxa de rotação ao redor dos eixos.

As coordenadas são gravadas em um arquivo com uma formatação que definimos, como pode ser visto na figura 5.4. Cada linha corresponde a uma leitura em um dos sensores. A primeira linha refere-se ao momento inicial da leitura, já a última, ao fim da leitura. O primeiro carácter de cada linha indica qual sensor está sendo captado. A letra 'A' representa o acelerômetro e a 'G' o giroscópio.

Figura 5.4: Arquivo de dados

```
A[-1.8883362,8.877731,2.2426147]  
G[-0.24052429,-0.2672119,0.06686401]  
A[-1.8626099,8.861557,2.852539]  
G[-0.24798584,-0.26828003,0.07644653]  
A[-1.9182587,8.997437,3.674347]  
G[-0.2639618,-0.1873169,0.08390808]  
A[-1.6154022,9.056686,4.366867]  
G[-0.2138977,-0.017944336,0.06259155]  
A[-1.9452057,9.078232,4.1274414]  
G[-0.098846436,0.059814453,0.03703308]  
A[-2.1169891,8.899277,3.8838348]  
G[-0.087127686,0.042770386,0.0657959]  
A[-2.0242157,8.9262085,4.0568085]  
G[-0.051971436,-0.121276855,0.11906433]  
A[-1.8596039,8.956741,4.075363]  
G[0.009811401,-0.22779846,0.15315247]  
A[-1.6309662,9.036346,4.3339386]  
G[0.06840515,-0.07759094,0.17019653]  
A[-1.1766663,8.944168,3.9185638]
```

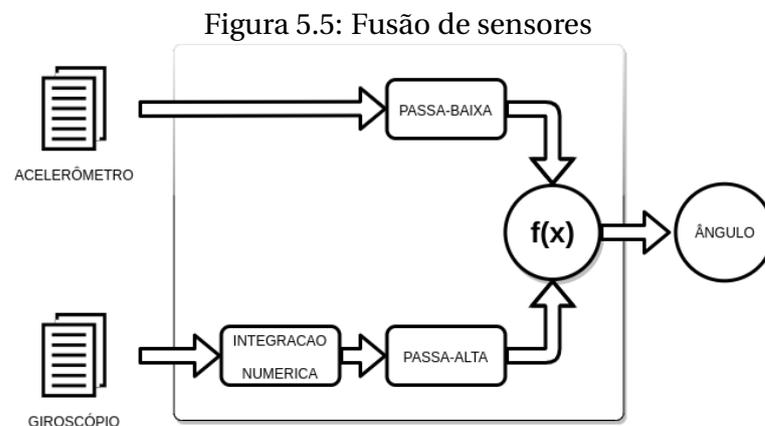
Processamento

É nesta etapa, que é feita a implementação do filtro complementar. Esta implementação é feita na linguagem Python, cujo motivo da escolha já foi discutido na seção de ferramentas. No primeiro momento precisamos lidar com o tratamento do arquivo gerado pelo aplicativo que captura os dados. Para isso, utilizamos um laço e executamos as seguintes ações:

- Percorremos cada linha do arquivo de dados;
- Identificamos a qual sensor pertence àquela informação através da tag 'A' ou 'G';

- Adicionamos cada linha a uma variável tipo list, retirando os caracteres indesejados, como as tags que identificam o sensor, vírgulas e colchetes;
- Aplicamos o filtro passa-alta ou passa-baixa;
- Por fim, aplicamos ao filtro complementar para fazer a fusão desses dados.

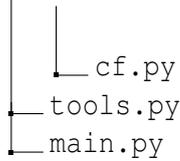
Na imagem 5.5 é possível entender que precisamos passar os dados do acelerômetro pelo filtro passa-baixa, enquanto que os dados do giroscópio vão passar em um filtro passa-alta. A passagem pelo filtro passa-baixa ou passa-alta acontece no momento em que o sensor é identificado.



A estrutura da implementação consiste em um diretório para os arquivos de dados, um arquivo main.py - encarregado de executar o sistema -, um módulo para o filtro complementar e um módulo para o KNN, que discutiremos na seção de resultados.

```

filte_classification
├── data
│   ├── amateur
│   │   └── backhand
│   └── professional
│       └── backhand
├── knn
│   └── knn.py
└── cf
  
```



No módulo `cf` temos a classe `ComplementaryFilter`, nela estão implementadas as funções, `low_pass_f()`, `high_pass_f()`, `complementary_f()` e `get_cfilter()` além das variáveis e constantes necessárias para o funcionamento do filtro complementar.

A função `low_pass_f()`, implementa uma média aritmética dos seus pontos vizinhos. [de Melo and Kim (2004)]

$$q_{acc} = (q_{i-1} + q_i + q_{i+1})/3 \quad (5.1)$$

Onde, q_{acc} é valor do acelerômetro que passou no filtro passa-baixa.

A função `high_pass_f()` implementa uma função pondera que agrega o vizinho anterior que já foi filtrado, - q_{gyr-1} - e também considera o vizinho anterior que foi coletado.

$$q_{gyr} = (1 - \alpha)q_{gyr-1} + (1 - \alpha)(q_i - q_{i-1}), \quad \alpha \in (0, 1) \quad (5.2)$$

Onde q_{gyr} é o valor do giroscópio coordenada que passou no filtro passa-alta e q_i é o valor coletado pelo giroscópio.

A função `complementar_f()` é a implementação de um filtro complementar de primeira ordem, dado pelo equação apresentada por Wu et al. (2016):

$$q = (1 - \alpha)q_{gyr}dt + \alpha q_{acc}, \quad \alpha \in (0, 1) \quad (5.3)$$

Onde q , q_{gyr} e q_{acc} são coordenadas ja filtradas do giroscópio e do acelerômetro, dt é a taxa de variação do tempo e α é o ganho do filtro complementar que é dado por:

$$\alpha = ct/(ct + dt) \quad (5.4)$$

Onde ct é a constante de tempo e dt é variação de tempo.

A função `get_cfilter()` tem dois argumentos, `file_name` e `filter_type`, onde `file_name` é o caminho para o arquivo com as informações dos sensores do jogador que vai ser avaliado. Essa função retorna uma lista com os valores dos sensores já filtrados e o parâmetro `filter_type` define filtro que vai ser utilizado. Por padrão, o filtro selecionado é o filtro complementar. Comtudo, se quisermos, por exemplo, uma lista com os valores no filtro passa-alta setamos o valor três no parâmetro `filter_type`. Podemos escolher entre o filtro passa-baixa ou passa-alta, filtro complementar, e os valores que foram capturados pelo acelerômetro e giroscópio apenas variando o valor de `filter_type`. Essa função possibilita a criação dos gráficos que comparam os resultados de cada filtro.

Por fim temos o arquivo `tools.py`, é neste arquivo que temos as funções encarregadas

de automatizar tarefas como formatar entradas e retornar valores específicos de uma lista, de fato uma caixa de ferramentas.

Resultado

Os convidados para realizar o experimento foram divididos em dois grupos: um grupo de pessoas que nunca jogaram tênis, que classificamos como “grupo de aprendiz”, e um grupo de pessoas com experiência no esporte, que classificamos como “profissionais”. Cada um dos participantes recebeu o aplicativo com as instruções para simular as jogadas (Spin e Backhan) e, posteriormente, enviar as informações coletadas para alimentar a base de dados.

Para avaliar se os movimentos do aprendiz estavam próximos aos movimentos dos profissionais usamos um método estatístico, o KNN - K Nearest Neighbor, em Português, K Vizinhos Mais Próximos -, que classificou cada coordenada do resultado do usuário para um grupo de profissionais ou aprendiz.

Como a saída do filtro complementar é uma lista de coordenadas ao longo do tempo do movimento da jogada, cada coordenada foi classificada com o KNN e, no fim, foi obtida uma lista com a classificação para cada coordenada. A partir dessa lista foi gerada uma porcentagem identificando quão perto o movimento do aprendiz estava do movimento do profissional. Por exemplo:

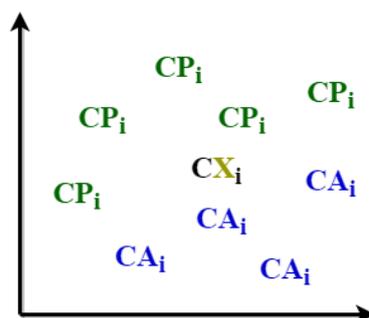
Tabela 5.1: Classificação de coordenadas

Tempo	t1	t2	t3	t4
Coordenada	[1.24,3.78,12.20]	[2.46,4.24,12.97]	[0.22,0.38,0.34]	[0.27,0.33,0.33]
Classificação	1	1	1	0

Considerando que o número 1 representa a classificação do profissional e o 0 a classificação do aprendiz, neste exemplo, o aprendiz tem 75% do movimento dele próximo do profissional.

O KNN é um algoritmo do campo de aprendizagem de máquina e pode ser usado para classificar um elemento, considerando o quão próximo este vetor está de um determinado grupo de vetores. Considere que CP_i é a coordenada do profissional no instante $t = i$, e CA_i é a coordenada do aprendiz no instante $t = i$. como está ilustrado na figura 5.6:

Figura 5.6: Classificação KNN



Observe na figura que a coordenada CX_i será classificada em um dos grupos de coordenadas. Para isso, o algoritmo KNN observa seus vizinhos, calcula a distância para os vizinhos mais próximos e assim o classifica para um dos grupos. A escolha de quantos vizinhos deve ser levado em consideração, ou que tipo de distância que deve ser adotada, está a critério do pesquisador.

É importante saber que o K do KNN representa o número de vizinhos que vai ser considerado e que esse valor deve ser escolhido de acordo com o tamanho da base de dados que o pesquisador possui. É comum usar o valor de k como sendo a raiz quadrada do valor da base de dados. Para este trabalho temos um universo de 9 profissionais e 7 aprendizes, formando uma base de 16 valores. Neste caso, foi calculada a raiz quadrada de 16 e assim temos que $k = 4$.

Como k não deve ser um número par, pois não podemos ter um empate na classificação, escolhemos então $k = 3$.

A distância que adotamos para este trabalho é calculada entre dois pontos, o elemento que você deseja classificar e seus vizinhos. O cálculo para obter o valor da distância pode ser feito de diversas maneiras, iremos usar a mais comum que é a Distância Euclidiana:

$$E(x, y) = \sqrt{\sum_{i=0}^n (x_i - y_i)^2} \quad (5.5)$$

Considerando que n é a dimensão do vetor que será classificado, para classificar $CX_i = (x, y, z)$, iremos calcular a distância de CX_i para todos os vetores da base de dados. Como escolhemos $k = 5$, o classificador (KNN) considera as cinco menores distâncias e desses valores faz uma seleção majoritária, ou seja, se das cinco distâncias três são do grupo de profissionais e duas do aprendiz, então o elemento CX_i é classificado como profissional.

No módulo KNN implementado, existe duas funções a `get_in_out` e `classify()`. A função `get_in_out` retorna duas listas, inputs que são as entradas na base de dados e outputs são a classificação de cada ponto dos inputs, como é observado na tabela 5.1. A função `classify()`, classifica - utilizando a biblioteca Scikit-learn configurada para usar a distância euclidiana e $k = 5$ - cada ponto da lista do jogador como sendo profissional (1) ou amador

(0).

Este módulo também é executável individualmente, isso para avaliar a qualidade do classificador e fazer testes como verificar qual o melhor valor de k , ou ainda dividir a base de dados em treinamento e classificação para mensurar a acurácia do classificador.

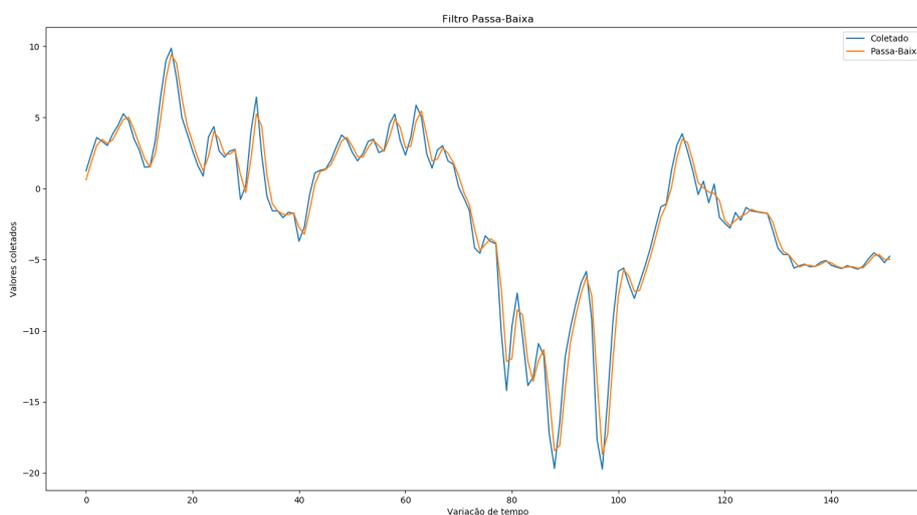
6

Resultados e Discussões

6.1 Fusão de Sensores

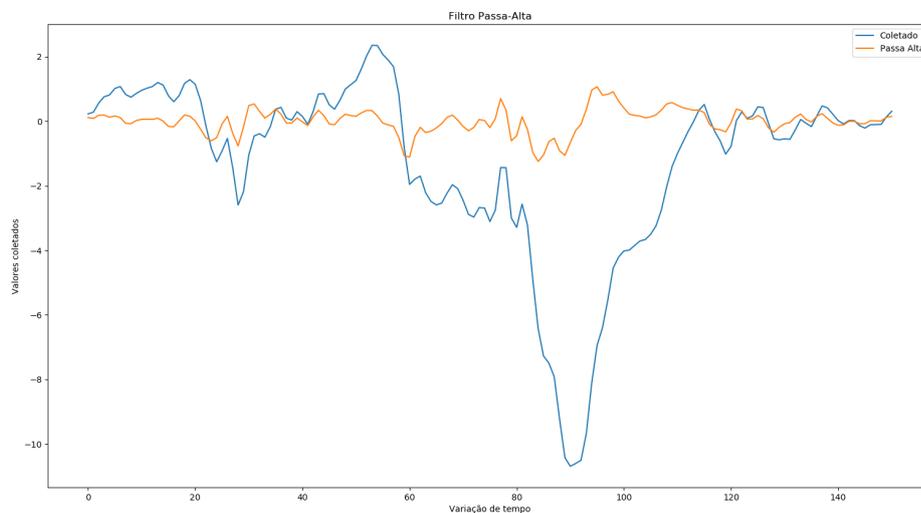
As informações dos sensores - acelerômetro e giroscópio - antes de serem aplicadas à função do filtro complementar são filtradas por um filtro passa-baixa e um filtro passa-alta. Observe na figura 6.1 que o filtro passa-baixa atenua os valores coletados pelo acelerômetro, retirando os picos de leitura, gerando assim uma curva mais suave que a anterior, representada pelos valores coletados no acelerômetro do smartphone. Podemos entender a razão dessa suavização da curva analisando a representação matemática do filtro passa-baixa. A função matemática do filtro em questão é uma média aritmética e logo valores que poderiam escapar da tendência de valores capturados pelo acelerômetro, ou seja valores muito altos, estes são enquadrados na média, o que deixa o resultado mais homogêneo.

Figura 6.1: Acelerômetro X Filtro Passa-Baixa



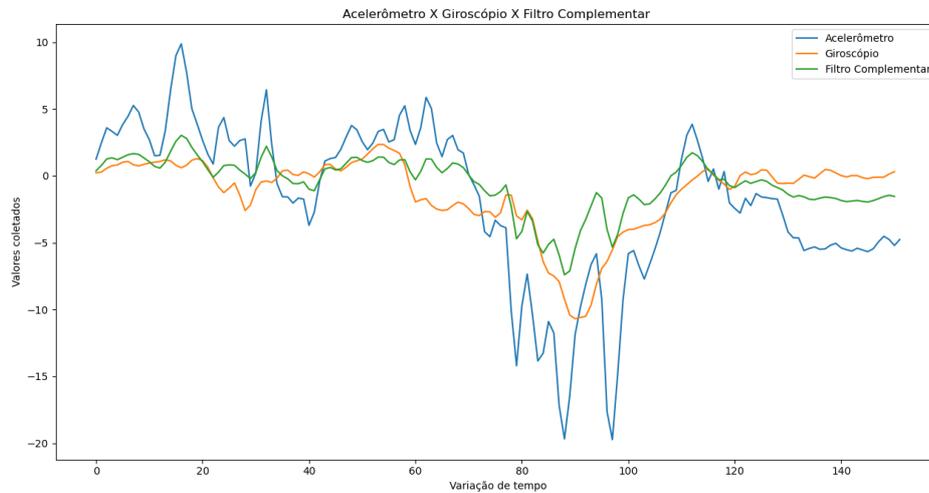
Na figura 6.2, é possível ver o comportamento do filtro passa-alta, que elimina os valores muito baixos. Observe no gráfico que quando o sensor giroscópio no smartphone varia para os valores muito baixos, o filtro consegue estabilizar estes valores. Isto acontece pois o filtro passa-alta escolhido considera em sua equação o valor anterior que já foi filtrado, atribuindo pesos diferentes para esse valor anterior filtrado e para o valor capturado pelo sensor. Consideramos que o peso maior deveria ser dado à leitura atual do giroscópio, sendo assim, o valor capturado tem peso 0.6 enquanto que o peso dado ao valor anterior que foi filtrado é 0.4.

Figura 6.2: Giroscopio X Filtro Passa-Alta



Os resultados da implementação do filtro complementar podem ser observados na figura 6.3 , o gráfico mostra a captura da coordenada X de cada ângulo captado pelos sensores no eixo das ordenadas. No eixo das abscissas é possível ver a variação de tempo. Observe que a linha verde representa a fusão dos dados dos sensores (acelerômetro e giroscópio) e esta curva une o ponto forte de cada um dos sensores, nos fornecendo informações mais precisas sobre cada ângulo. Na função matemática do filtro complementar visto na equação 5.3, é possível ver o ganho α , este ganho é responsável por balancear no filtro qual sensor é mais confiável

Figura 6.3: Acelerômetro X Giroscópio X Filtro Complementar



6.2 KNN

Para classificar cada ponto do usuário como amador ou profissional, utilizamos a biblioteca Scikit-learn. A opção por usar esta ferramenta proporcionou algumas vantagens como a confiabilidade na implementação do algoritmo KNN, visto que é uma biblioteca de uso comum na comunidade e, por isso, já foi bastante usada e testada. Além disso, o fator determinante foi a flexibilidade que ela oferece. Como se trata de um experimento, era preciso implementar várias distâncias diferentes para verificar qual distancia iria gerar resultados mais precisos no classificador. Com a Scikit-learn, que já tem as principais distâncias implementadas, a alteração entre as elas foi feita de maneira natural, modificando apenas um parâmetro na função.

No sistema construído, o módulo KNN implementa no arquivo `knn.py` o classificador KNN. Para ter uma dimensão da qualidade de nosso classificador, ou seja, entender o quão confiável é o resultado de um vetor que foi classificado, este módulo é também executável, com a finalidade de nos fornecer métricas para esta avaliação. Após alguns testes a configuração que apresentou o melhor desempenho do classificador foi para $k = 3$. Com uma base de 7 aprendizes e 9 profissionais, um total de 16, separamos aproximadamente 65% da base para treino e o restante para teste.

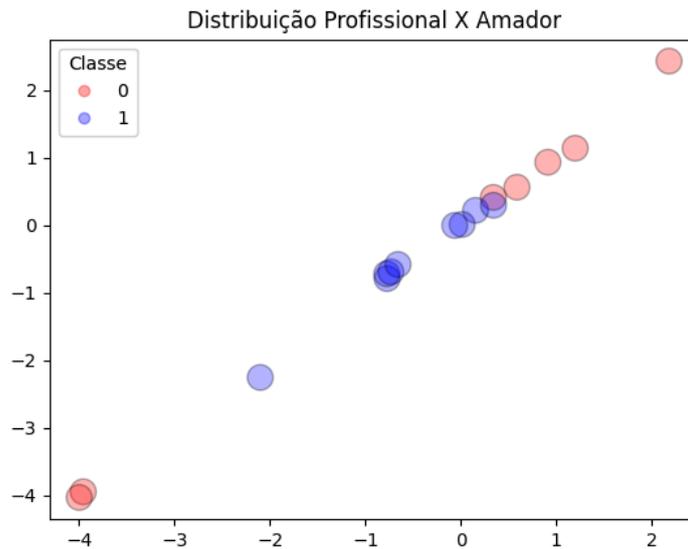
Tabela 6.1: Resultados do classificador

Treinamento	Teste	Acertos	Acurácia
10	6	5	83%

Como todos os pontos são classificados, rodamos esta classe em loop de maneira que fosse possível, com os valores de acurácia para cada ponto, calcular a média aritmética de

acurácia do classificador em todos os pontos. O resultado é que em média aritmética, nosso classificador tem 80% de acerto. Na figura 6.4 é possível ver a classificação de um dos pontos na lista. Os pontos com a legenda 1 representam os profissionais, enquanto os com legenda 0 são os amadores.

Figura 6.4: Distribuição da classificação de um mesmo ponto em cada arquivo da base. A plotagem mostra os eixos X e Y destes pontos.



Para classificar a jogada de um novo usuário foi preciso gerar um arquivo com o app e colocá-lo na pasta /data no sistema escrito em Python. Além de todos os gráficos mostrados nesta seção, foram apresentadas, como saída do sistema, informações como a quantidade de linhas que foram apreciadas, uma lista mostrando como foi rotulado cada ponto e, por fim, uma porcentagem indicando quantos dos pontos foram classificados como profissional. Observe abaixo um exemplo dessa saída.

```
=====
CLASSIFICACAO DE CADA PONTO (1 = PROFISSIONAL, 0 = AMADOR):
QUANTIDADE DE LINHAS ANALISADAS: 149
[0, 0, ... , 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, ... , 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, ... , 1]
PROFISSIONAL: 72 AMADOR: 77 QUANTO DE PROFISSIONAL: 48.32\%
=====
```

7

Considerações Finais

Este trabalho buscou apresentar uma abordagem da fusão de sensores em um contexto de jogos sérios. Essa abordagem com jogos sérios nos traz benefícios como mostrar de maneira prática a aplicação de técnicas como a fusão de sensores, assim como aproximar cada vez mais a internet das coisas de cada um de nós. As pesquisas no campo de fusão de sensores, jogos sérios e internet das coisas estão bastante aquecidas, isso torna esse trabalho promissor não só por essa grande comunidade que tem uma produção científica bastante consistente, nessa área de pesquisa, mas também pelos resultados adquiridos.

O objetivo de apresentar uma estimativa do profissionalismo do movimento do usuário foi alcançado. A captura dos valores dos sensores do smartphone se mostrou bastante eficiente e prática. A classificação dos vetores com o KNN, a partir da fusão dos dados do acelerômetro e giroscópio, proporcionou uma confiabilidade maior nos resultados alcançados.

Como a ideia era estabelecer uma comparação entre os movimentos dos profissionais e dos amadores, o conjunto de amostras usado para classificar, foi limitado, uma vez que no local onde a pesquisa foi realizada, os profissionais do esporte em questão estão em pouco número.

Este trabalho mostrou que existe possibilidade de pesquisas diversas. Como por exemplo, utilizar a mesma abordagem aqui apresentada, em esportes como kendô ou basebol, que utilizam de acessórios - a espada e o taco, respectivamente -, para sua prática.

Por ter sido um limitador o fato de não encontrar profissionais, uma possibilidade futura de ampliar a pesquisa é uma base de dados compartilhada, onde atletas profissionais do mundo todo, de diversos esportes, poderiam contribuir com esse experimento. Outra possibilidade é testar abordagens diferentes de fusão de sensores, como o filtro de Kalman, que é um filtro mais complexo que o filtro complementar, mas que, teoricamente, possibilitaria ganhos de confiabilidade maior.

Referências bibliográficas

Clark C Abt. *Serious games*. University press of America, 1987.

Ala Al-Fuqaha, Mohsen Guizani, Mehdi Mohammadi, Mohammed Aledhari, and Moussa Ayyash. Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE communications surveys & tutorials*, 17(4):2347–2376, 2015.

Luigi Atzori, Antonio Iera, and Giacomo Morabito. The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15):2787–2805, 2010.

Rafael B. Luiz. Desenvolvimento do jogo “poder e decisão” criado na produtora de jogos da universidade positivo para o seu curso de direito. 2014.

David Crookall. Serious games, debriefing, and simulation/gaming as a discipline. *Simulation & gaming*, 41(6):898–920, 2010.

Marco AA de Melo and Hae Yong Kim. Filtragem de sinais do acelerômetro pela difusão anisotrópica. 2004.

Android Developer. Sensores de movimento, 2020. URL https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_motion.

Remco M Dijkman, Bruno Sprenkels, Thijs Peeters, and Aiden Janssen. Business models for the internet of things. *International Journal of Information Management*, 35(6):672–678, 2015.

Damien Djaouti, Julian Alvarez, Jean-Pierre Jessel, and Olivier Rampoux. Origins of serious games. In *Serious games and edutainment applications*, pages 25–43. Springer, 2011.

TIC Domicílios. Tic domicílios - 2018, 2018. URL <https://www.cetic.br/pesquisa/domicilios/indicadores>.

Ericsson. Internet of things to overtake mobile phones by 2018: Ericsson mobility report, 2016. URL <https://www.ericsson.com/en/press-releases/2016/6/internet-of-things-to-overtake-mobile-phones-by-2018-ericsson-mobility-report>.

- John Gantz and David Reinsel. The digital universe in 2020: Big data, bigger digital shadows, and biggest growth in the far east. *IDC iView: IDC Analyze the future*, 2007 (2012):1–16, 2012.
- Jayavardhana Gubbi, Rajkumar Buyya, Slaven Marusic, and Marimuthu Palaniswami. Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7):1645–1660, 2013.
- Eric Klopfer, Scot Osterweil, Katie Salen, et al. Moving learning games forward. *Cambridge, MA: The Education Arcade*, 2009.
- Debra A Lieberman. Management of chronic pediatric diseases with interactive health games: Theory and research findings. *The Journal of ambulatory care management*, 24(1):26–38, 2001.
- James Manyika, Michael Chui, Jacques Bughin, Richard Dobbs, Peter Bisson, and Alex Marrs. *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*, volume 180. McKinsey Global Institute San Francisco, CA, 2013.
- Michela Mortara, Chiara Eva Catalano, Francesco Bellotti, Giusy Fiucci, Minica Houry-Panchetti, and Panagiotis Petridis. Learning cultural heritage by serious games. *Journal of Cultural Heritage*, 15(3):318–325, 2014.
- ONU. Mobile broadband subscriptions on track to hit 4.3 billion in 2017 – un report, May 2020. URL <https://news.un.org/en/story/2017/07/562562-mobile-broadband-subscriptions-track-hit-43-billion-2017-un-report#.WYI4K1V96iN>.
- Maria Magdalena Popescu, Margarida Romero, and Mireia Usart. Serious games for serious learning using sg for business, management and defence education. *Int. J. Comput. Sci. Res. Appl*, 3(1):5–15, 2013.
- Michael W Sayers. The little book of profiling: basic information about measuring and interpreting road profiles. Technical report, University of Michigan, Ann Arbor, Transportation Research Institute, 1998.
- Halim Tannous, Dan Istrate, Aziz Benlarbi-Delai, Julien Sarrazin, Mohamad Idriss, Anaick Perrochon, Jean-Yves Salle, Marie-Christine Ho Ba Tho, and Tien Tuan Dao. Tele-rehabilitation serious game. 2017.
- Franklin E White. Data fusion lexicon. Technical report, Joint Directors of Labs Washington DC, 1991.

Jin Wu, Zebo Zhou, Jingjun Chen, Hassen Fourati, and Rui Li. Fast complementary filter for attitude estimation using low-cost marg sensors. *IEEE Sensors Journal*, 16(18):6997–7007, 2016.