

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 09/12/2017.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MEZQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

MELISA DE JESÚS BARRERA DURANGO

**SIRAH: SISTEMA DE RECONHECIMENTO DE ATIVIDADES HUMANAS E
AVALIAÇÃO DO EQUILIBRIO POSTURAL**

**Ilha Solteira
2017**

MELISA DE JESÚS BARRERA DURANGO

**SIRAH: SISTEMA DE RECONHECIMENTO DE ATIVIDADES HUMANAS E
AVALIAÇÃO DO EQUILÍBRIO POSTURAL**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção de Doutor em Engenharia. Área de concentração: Automação.

Prof. Dr. Alexandre César Rodrigues da Silva
Orientador

Ilha Solteira

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Barrera Durango, Melisa de Jesús.

B272s SIRAH: sistema de reconhecimento de atividades humanas e avaliação do equilíbrio postural / Melisa de Jesús Barrera Durango. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017

139 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Automação, 2017

Orientador: Alexandre César Rodrigues da Silva

Inclui bibliografia

1. Inteligência ambiental. 2. Ambientes inteligentes. 3. Internet das coisas. 4. Reconhecimento de atividades humanas. 5. Sensores. 6. Redes neurais artificiais.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: SIRAH: Sistema de Reconhecimento de Atividades Humanas e Avaliações do Equilíbrio Postural

AUTORA: MELISA DE JESÚS BARRERA DURANGO

ORIENTADOR: ALEXANDRE CESAR RODRIGUES DA SILVA


Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em ENGENHARIA ELÉTRICA, área: AUTOMAÇÃO pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ALEXANDRE CESAR RODRIGUES DA SILVA
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. APARECIDO AUGUSTO DE CARVALHO
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. CARLOS ROBERTO MINUSSI
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Profa. Dra. DANIELA GODOI JACOMASSI
Departamento de Educação Física e Motricidade Humana / Universidade Federal de São Carlos


Prof. Dr. EDSON ANTONIO BATISTA
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo / Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Ilha Solteira, 09 de junho de 2017

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese os meus pais Carmiña e José Antonio, que me educaram e deram o melhor exemplo de vida.

Ao meu esposo Miller e meu filho Elías, minha amada família, meu motor.

Sem o apoio e amor de vocês, este trabalho não teria sido realizado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por minha vida e todas as bênçãos que me deu e cada dia continuo recebendo.

Aos meus pais Carmiña e José Antonio, pelo imenso amor, que mesmo longe me fortalece em todo momento. Obrigada por acreditar em mim e me apoiar nesta caminhada e por me ajudar a não desistir dos meus sonhos.

Ao meu esposo Miller, pelo amor, paciência e dedicação, tanto nos bons momentos quanto nos tempos de crise e estresse. Você é meu complemento e como já te disse inúmeras vezes, sem você eu não estaria aqui.

Ao meu amado filho Elías José. Há pouco chegaste na minha vida, mas a mudaste completamente. Obrigada filho por me ensinar o que é ser mãe e a sentir um amor tão grande que não cabe no meu peito. Este logro é para ti e por ti.

Ao querido orientador professor doutor Alexandre, pelo apoio incondicional, por sempre estar aí quando mais precisava e não me deixar desistir quando pensei que não conseguiria. Obrigada por seus ensinamentos, tanto teóricos quanto pessoais durante o doutorado.

Aos meus colegas Caroline Meireles e Fabian Castro do Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Engenharia Biomédica, e Willian Ferreira do Laboratório de Processamento De Sinais e Sistemas Digitais, por trabalhar comigo e me ajudar a desenvolver esta pesquisa.

À professora Daniela Godoi, da Universidade Federal de São Carlos, pelas ideias e orientações que generosamente me deu e que me ajudaram na finalização desta pesquisa.

A minha querida Universidad de Antioquia por me permitir viver esta experiência de crescimento profissional e espiritual. Estou ansiosa por voltar a minha Alma Mater.

RESUMO

O reconhecimento de atividades humanas abrange diversas técnicas de classificação que permitem identificar padrões específicos do comportamento humano no momento da ocorrência. A identificação é realizada analisando dados gerados por diversos sensores corporais, entre os quais destaca-se o acelerômetro, pois responde tanto à frequência como à intensidade dos movimentos. A identificação de atividades é uma área bastante explorada. Porém, existem desafios que necessitam ser superados, podendo-se mencionar a necessidade de sistemas leves, de fácil uso e aceitação por parte dos usuários e que cumpram com requerimentos de consumo de energia e de processamento de grandes quantidades de dados. Neste trabalho apresenta-se o desenvolvimento do Sistema de Reconhecimento de atividades Humanas e Avaliação do Equilíbrio Postural, denominado SIRAH. O sistema está baseado no uso de um acelerômetro localizado na cintura do usuário. As duas fases do reconhecimento de atividades são apresentadas, fase *Offline* e fase *Online*. A fase *Offline* trata do treinamento de uma rede neural artificial do tipo perceptron de três camadas. No treinamento foram avaliados três estudos de caso com conjuntos de atributos diferentes, visando medir o desempenho do classificador na diferenciação de 3 posturas e 4 atividades. No primeiro caso o treinamento foi realizado com 15 atributos, gerados no domínio do tempo, com os que a rede neural artificial alcançou uma precisão de 94,40%. No segundo caso foram gerados 34 atributos tanto no domínio do tempo quanto da frequência. Uma vez treinada a rede neural artificial, esta classificou corretamente as posturas e atividades em 94,35% das vezes. No terceiro caso aplicou-se o método de seleção automática PCA (Principal Componente Analysis) no conjunto de 34 atributos. Com 20 componentes principais a rede neural artificial teve uma precisão de 95,55%. Na fase *Online* foi implementado no sistema SIRAH o modelo obtido no treinamento com o primeiro estudo de caso, com o objetivo de classificar dados novos do sensor em tempo real. Estes atributos são gerados exclusivamente no domínio do tempo, evitando a implementação da Transformada de Fourier no sistema, que aumentaria a complexidade computacional e o tempo de execução do algoritmo. O sistema SIRAH envia ao computador a atividade ou postura classificada, limitando desta forma a quantidade de informação transmitida na rede local. O sistema SIRAH também calcula a raiz do valor quadrático médio da aceleração horizontal e os deslocamentos nos eixos ântero-posterior e médio-lateral do centro de massa do corpo, indicadores da oscilação corporal, parâmetros sugeridos como medida do equilíbrio na postura ereta semi-estática. Para validar esta funcionalidade foram realizados testes que alteram o sistema de controle postural, usados para avaliar o equilíbrio. Os resultados dos testes mostraram que o acelerômetro consegue diferenciar estas condições, concluindo-se que esta funcionalidade torna ao sistema SIRAH uma ferramenta válida na avaliação da oscilação corporal contínua, que pode ser usada em ambientes externos a clínicas e laboratórios especializados. SIRAH, com suas duas funcionalidades, é um sistema confortável e de fácil uso, pois sua localização não atrapalha os movimentos dos usuários.

Palavras-chave: Inteligência ambiental. Ambientes inteligentes. Internet das coisas. Reconhecimento de atividades humanas. Sensores. Sensores corporais. Acelerômetro. Classificação em tempo real. Redes neurais artificiais. Oscilação corporal. Baropodômetro.

ABSTRACT

Human activity recognition encompasses varying classification techniques that identify of specific patterns of human behavior at the time of their occurrence. Identification is achieved by analyzing data generated by several body sensors, in particular the accelerometer, as it responds to both the frequency and the intensity of the movements. Human activity recognition is a well-explored area. However, there are challenges that need to be overcome, such as the need for light systems that are easy to use, user-friendly, that meet energy consumption requirements and can process large amounts of data. In this research is presented the development of the of Human Activity Recognition and Balance Assessment System, denominated SIRAH. The system is based on an accelerometer used in the user's waist. Two phases of activity recognition are presented, *offline* phase and *online* phase. The *offline* phase deals with the training of an Artificial Neural Network. In the training, three case studies with different sets of features were evaluated in order to measure the performance of the classifier on the classification of 3 postures and 4 activities. In the first case, the Artificial Neural Network achieved an accuracy of 94.40% using 15 features generated in the time domain. In the second case, 34 features were generated in both time and frequency domains. Once the Artificial Neural Network was trained, it correctly classified the postures and activities in 94.35% of the instances. In the third case, the PCA (Principal Component Analysis) automatic selection method was applied to the second case study. With 20 components, the Artificial Neural Network had an accuracy of 95.55%. In the *online* phase, the model obtained training for the first case study was implemented in the SIRAH system to classify new sensor data in real time. These attributes are generated exclusively in the time domain and so the need to implement the Fourier Transform in the system is avoided. This would increase the computational complexity and the execution time of the algorithm. The SIRAH system only sends the classified activity or posture to the computer, thereby limiting the amount of information transmitted in the local network. The SIRAH system also calculates root mean square value for horizontal accelerations and the displacements on the anteroposterior and mediolateral axes of the body mass center, body sway indicators, suggested parameters for body sway measurement in quiet standing. To validate this functionality were performed tests that alter the balance control system, used to evaluate a person's balance. The results of the tests showed that the accelerometer can differentiate these conditions, concluding that the SIRAH system is a valid tool in the assessment of continuous body sway, which can be used in environments outside specialized clinics and laboratories. SIRAH, with its two functionalities, is a comfortable and easy to use system, because its location does not disturb the movements of the users.

Key words - Ambient intelligence: Smart environments. Internet of things. Human activity recognition. Sensors. Wearable sensor. Accelerometer. Online classification. Real-time classification. Artificial neural network. Principal component analysis. Body sway. Baropodometer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diferentes partes do corpo as que são dirigidas as aplicações da Aml e IoT.	22
Figura 2 - Componentes e caraterísticas das cidades inteligentes.	29
Figura 3 - Enfoques no estudo do uso de acelerômetros no HAR.	37
Figura 4: Sistema massa mola.	45
Figura 5 - eixos do acelerômetro.	46
Figura 6 - Modelo físico simplificado do transdutor.	56
Figura 7 - Sistema SIRAH desenvolvido e o posicionamento no indivíduo.	57
Figura 8 - Hardware do SIRAH.	57
Figura 9 - Eixos do acelerômetro no corpo do usuário.	58
Figura 10 - Processos da fase <i>Offline</i> do SIRAH.	60
Figura 11 - Acelerações geradas na postura ereta.	62
Figura 12 – Acelerações geradas na postura sentada.	63
Figura 13 - Acelerações geradas na postura deitada.	63
Figura 14 - Acelerações geradas na atividade caminhar.	64
Figura 15 - Acelerações geradas na atividade correr.	65
Figura 16 - Acelerações geradas nas atividades levantar e sentar.	65
Figura 17 - Multiplicação dos eixos Y e Z.	66
Figura 18 - Picos identificados e atividades levantar e sentar separadas.	67
Figura 19 - Filtro passa-baixas, postura ereta.	68
Figura 20 - Filtro passa-baixas, atividade correr.	68
Figura 21 - Filtro passa-altas, postura ereta.	69
Figura 22 - Postura sentada segmentada com janela de 2s.	71
Figura 23 - Atividade correr segmentada com janela de 2s.	71
Figura 24 - Atividades levantar-se e sentar-se segmentadas com janelas de 2s.	72
Figura 25 - Modelo básico do neurônio.	78
Figura 26 - RNA perceptron multicamadas	80
Figura 27 - RNA do sistema SIRAH	82
Figura 28 - Atividade sentar-se.	85

Figura 29 - Atividade levantar-se.....	85
Figura 30 - Precisão PCA.....	87
Figura 31 - Média eixo Y nas atividades sentar-se e levantar-se.....	89
Figura 32 - Média eixo Y na atividade sentar-se e a postura ereta	90
Figura 33 – Transições entre as posturas sentada e ereta	91
Figura 34 – Fluxograma do algoritmo implementado em Matlab.....	92
Figura 35 – Fase <i>Offline</i> versus Fase <i>Online</i>	95
Figura 36 - Fluxograma da classificação <i>Online</i>	96
Figura 37- Representação dos eixos ântero-posterior e médiolateral no corpo humano, plataforma de força e a trajetória do CP.....	101
Figura 38-Relação entre a aceleração medida em um eixo inclinado com um ângulo α e a aceleração horizontal real.....	105
Figura 39- Acelerações medida e real no eixo ântero-posterior AP, obtidas com o MMA7455L.....	106
Figura 40- Acelerações medida e real no eixo ântero-posterior AP, obtidas com o MPU-6050.	107
Figura 41- Coordenadas da trajetória da projeção do vetor de aceleração no solo.....	108
Figura 42- Trajetória da oscilação corporal e cálculo dos parâmetros	110
Figura 43- Pêndulo simples.....	110
Figura 44 - Ângulos do método	111
Figura 45 - Ângulos calculados pelo método com o acelerômetro da posição horizontal.....	112
Figura 46- Ângulos calculados no experimento realizado com o pêndulo.....	112
Figura 47- Deslocamentos calculados no experimento realizado com o pêndulo ..	113
Figura 48 - Acelerações reais nos eixos ML e AP, na condição OA.	114
Figura 49 - Acelerações reais nos eixos ML e AP, na condição OF.....	115
Figura 50 – Deslocamentos e parâmetros calculados nas condições OA e OF.....	116
Figura 51- Coleta de dados com o acelerômetro e baropodômetro simultaneamente.....	117
Figura 52 - Acelerações e valores RMS do eixo ML nas condições OA, OF e 1P.	118
Figura 53 - Acelerações e valores RMS do eixo AP nas condições OA, OF e 1P.	119

Figura 54 – Deslocamentos e parâmetros nas condições OA, OF e 1P.	119
Figura 55 - SIRAH sistema de reconhecimento de atividades e avaliação do equilíbrio.....	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo de conjunto usado no primeiro estudo de caso	78
Tabela 2 - Exemplos de treinamento do primeiro estudo de caso.....	82
Tabela 3 - Precisão dos estudos de caso realizados	88
Tabela 4 - Condições avaliadas com as acelerações horizontais.	103
Tabela 5 - Parâmetros calculados com o baropodômetro.....	120

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Funcionalidades oferecidas por alguns <i>smart wearables</i>	23
Quadro 2 - Tipos de atividades reconhecidas por sistemas HAR.	32
Quadro 3 - Sensores fixos com possíveis aplicações no HAR.....	33
Quadro 4 - Diferentes atividades e suas acelerações, dependendo da localização do acelerômetro no corpo humano.....	47
Quadro 5 - Atributos extraídos no domínio do tempo.....	73
Quadro 6 - Atributos extraídos no domínio da frequência	74
Quadro 7- Estudos de caso realizados com diferentes atributos	77

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	16
1.1	OBJETIVOS DA TESE	18
1.1.1	<i>Objetivo geral</i>	18
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	18
1.2	INTELIGÊNCIA AMBIENTAL E A INTERNET DAS COISAS	19
1.3	APLICAÇÕES DA INTELIGÊNCIA AMBIENTAL E A INTERNET DAS COISAS.....	22
1.3.1	<i>Smart wearables ou wearable sensors</i>	22
1.3.2	<i>Casas inteligentes</i>	24
1.3.3	<i>Cidades inteligentes</i>	27
2	ESTADO DA ARTE: RECONHECIMENTO DE ATIVIDADES	31
2.1	ATIVIDADES A SEREM IDENTIFICADAS	31
2.2	SENSORES APLICADOS NO HAR	32
2.3	RECONHECIMENTO DE ATIVIDADES COM SENSORES CORPORAIS	35
2.3.1	<i>Reconhecimento de atividades com acelerômetros, magnetômetros e/ou giroscópios</i>	36
2.3.2	<i>Reconhecimento de atividades com câmeras e outros sensores</i>	41
2.3.3	<i>Reconhecimento de atividades com sistemas híbridos</i>	42
3	RECONHECIMENTO DE ATIVIDADES COM ACELERÔMETRO	44
3.1	COLETA DE DADOS.....	45
3.1.1	<i>Caraterísticas do acelerômetro</i>	45
3.2	FILTRAGEM DOS DADOS.....	48
3.3	SEGMENTAÇÃO DE DADOS	49
3.3.1	<i>Janela deslizante</i>	49
3.3.2	<i>Janela definida por eventos</i>	49
3.3.3	<i>Janela definida por atividades</i>	50
3.3.4	<i>Janela definida por outros sensores e informação contextual</i>	50
3.4	GERAÇÃO DE ATRIBUTOS	50
3.4.1	<i>Atributos no domínio do tempo</i>	51
3.4.2	<i>Atributos no domínio da frequência</i>	51

3.4.3	<i>Atributos heurísticos</i>	51
3.4.4	<i>Análise de Wavelet</i>	52
3.5	NORMALIZAÇÃO	53
3.6	SELEÇÃO DE ATRIBUTOS	53
4	SIRAH: SISTEMA DE RECONHECIMENTO DE ATIVIDADES HUMANAS	55
4.1	ATIVIDADES A SEREM IDENTIFICADAS	55
4.2	TIPO DE SENSOR	55
4.3	LOCALIZAÇÃO DO SENSOR.....	56
4.4	ELEMENTOS DE HARDWARE E SOFTWARE	57
4.5	FASE OFFLINE	59
4.5.1	<i>Coleta de dados com o sensor MMA7455L</i>	60
4.5.2	<i>Filtro</i>	67
4.5.3	<i>Segmentação</i>	69
4.5.4	<i>Geração de atributos</i>	72
4.5.5	<i>Normalização</i>	75
4.5.6	<i>Seleção dos atributos</i>	75
4.5.7	<i>Treinamento da rede neural artificial</i>	78
4.5.8	<i>Avaliação da RNA</i>	84
4.5.9	<i>Implementação em Matlab da fase Offline</i>	91
4.6	FASE ONLINE	94
4.7	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA EM UM MICROCONTROLADOR ATMEGA2560	95
5	SIRAH: AVALIAÇÃO DO EQUILIBRIO POSTURAL	100
5.1	ANÁLISE DAS ACELERAÇÕES DO CENTRO DE MASSA	103
5.2	ANÁLISE DO DESLOCAMENTO DO CENTRO DE MASSA	107
5.3	AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS	114
5.4	SIRAH: ABORDAGEM INTEGRADA.....	120
6	CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO	123
	REFERÊNCIAS	128

1 INTRODUÇÃO GERAL

A Inteligência ambiental é um conceito que se refere a espaços melhorados com sensores, atuadores e *software*, que ajudam as pessoas no desenvolvimento das tarefas diárias. A evolução natural da Inteligência Ambiental é a Internet das Coisas, paradigma segundo o qual os dispositivos incluídos na Inteligência Ambiental estão conectados à Internet, compartilhando dados e cooperando entre eles para oferecer serviços de valor agregado. Estes conceitos estão sendo estudados há vários anos, mas sua implementação ainda está em andamento.

As aplicações abrangidas na Inteligência Ambiental e na Internet das Coisas precisam conhecer o contexto dos usuários para poder oferecer serviços personalizados. Um componente fundamental do contexto dos usuários são as atividades realizadas diariamente, sendo aplicadas diversas técnicas para reconhecê-las com bases na informação gerada por sensores localizados tanto no ambiente quanto no corpo dos indivíduos.

O reconhecimento de atividades humanas é um campo de pesquisa produtivo e extenso que abrange diversas técnicas de classificação que permitem identificar padrões específicos do comportamento humano no momento da ocorrência. O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento do Sistema de Reconhecimento de Atividades Humanas e Avaliação do Equilíbrio Postural, denominado SIRAH, cujo elemento central é um acelerômetro, localizado na cintura do usuário.

As posturas e atividades a serem identificadas pelo sistema são: posturas ereta, sentada e deitada e atividades: caminhar, correr, sentar-se e levantar-se. No texto são abordadas em detalhe as duas fases envolvidas na construção do sistema: fase *Offline* e fase *Online*. Na fase *Offline* se realizou o treinamento de uma Rede Neural Artificial, do tipo perceptron de três camadas, usando atributos dos sinais de aceleração, gerados nos domínios do tempo e da frequência.

Na fase *Online*, o modelo obtido no treinamento é implementado no próprio sistema SIRAH com o objetivo de classificar dados novos do sensor em tempo real. Desta forma o sistema realiza a classificação das posturas e atividades do usuário no momento da ocorrência.

O sistema SIRAH também avalia a oscilação corporal na postura ereta semi-estática. Acredita-se que a oscilação corporal possui um role importante no controle do equilíbrio (MOE-NILSSEN; HELBOSTAD, 2002). Quando existe disfunção do equilíbrio postural, a amplitude da oscilação corporal pode exceder os limites de estabilidade e contribuir em uma queda. As quedas podem ser o resultado de fatores extrínsecos e intrínsecos, mas a contribuição de cada um muda com a idade. No envelhecimento existe um decremento nas causas externas devido a que a participação em atividades arriscadas diminui. Simultaneamente, existe um aumento das causas intrínsecas devido ao declínio funcional normal relacionado com a idade, pois parte do processo de envelhecimento normal, envolve decrementos nos receptores periférico, na função nervosa, cognição, atenção e na força muscular, altamente envolvidos na regulação de postura ereta. Assim, a disfunção do equilíbrio postural tem sido identificada como um fator de risco importante para futuras quedas, pelo que resulta interessante contar com uma ferramenta para seu análise e quantificação (SAUNDERS, 2013).

O sistema SIRAH calcula a raiz do valor quadrático médio, ou valor RMS (do inglês *Root Mean Square*) da aceleração horizontal e os deslocamentos nos eixos ântero-posterior e médio-lateral do corpo, parâmetros que podem ser usados como indicadores da oscilação do corpo. Nesta aplicação o acelerômetro deve estar localizado no sacro, perto do centro de massa do corpo humano na postura ereta semi-estática.

Este documento está dividido em sete capítulos. No primeiro capítulo são apresentados os objetivos da tese e marco geral da pesquisa, que abrange os conceitos e aplicações da Inteligência Ambiental e a Internet das Coisas. No segundo capítulo apresenta-se o estado da arte do reconhecimento de atividades

humanas com sensores corporais. No terceiro capítulo são explicadas as fases *Offline* e *Online* do reconhecimento de atividades usando acelerômetros, assim como os processos envolvidos em cada fase. No quarto capítulo apresenta-se o sistema SIRAH, explicando as atividades a serem reconhecidas e a localização do sensor, o tipo de acelerômetro e demais elementos de hardware usados. Neste capítulo detalha-se a implementação das duas fases do reconhecimento de atividades do sistema SIRAH, fase *Offline* e fase *Online*, assim como os resultados obtidos em cada processo. No quinto capítulo apresenta-se a implementação da avaliação do equilíbrio postural, os métodos utilizados e resultados do estudo realizado. No capítulo número seis é apresentada a conclusão desta pesquisa e os trabalhos futuros e finalmente no capítulo sete são apresentadas as referências.

6 CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

A pesquisa apresentada destinou-se a aprofundar teórica e empiricamente a problemática do reconhecimento de atividades humanas e a avaliação do equilíbrio postural.

O reconhecimento de atividades humanas, é uma área que agrupa diversas técnicas de classificação, com o objetivo de identificar padrões do comportamento humano no momento da ocorrência. A identificação é realizada processando dados gerados por sensores localizados no ambiente ou no corpo do usuário.

Neste trabalho projetou-se um sistema de reconhecimento de atividades, com base nos sinais geradas por um acelerômetro localizado na cintura do usuário. O sistema SIRAH pode reconhecer três posturas e quatro atividades de forma eficiente.

No desenvolvimento do sistema SIRAH foram realizadas as duas fases do reconhecimento de atividades. A fase *Offline* e a fase *Online*.

Na fase *Offline*, que trata do treinamento do algoritmo de aprendizagem, realizaram-se vários estudos de caso com diferentes conjuntos de treinamento. No primeiro caso examinou-se a precisão alcançada pela RNA treinada com um conjunto de atributos gerados no domínio do tempo. A precisão foi adequada, com uma classificação correta 94,40% das vezes. Posteriormente analisou-se o impacto do aumento e diversificação dos atributos na precisão, realizando outros dois estudos de caso. Nestes casos geraram-se 34 atributos tanto no domínio do tempo quanto da frequência. Observou-se que nem aumentar o número de atributos nem incluir atributos no domínio da frequência proporcionaram uma melhora significativa na precisão alcançada pelo classificador do primeiro estudo de caso, o que levou a analisar o desempenho desse modelo em cada atividade. A RNA classificou todas as posturas e as atividades caminhar e correr com uma precisão igual a 100%, mas este valor caiu para a atividade sentar-se em 88.8% e levantar-se 73,37%. Uma avaliação dos atributos permitiu constatar que estes

apresentam sobreposição para as duas atividades, devido a que ao ser segmentadas os sinais ficam muito parecidos, pelo que se concluiu que o erro de classificador é inerente a estas duas atividades.

Como trabalho futuro nesta fase *Offline* propõe-se:

- Estudar o efeito da segmentação na classificação, comparando os resultados dos diferentes estudos de caso aplicando janelas tamanhos diferentes, tanto sem sobreposição quanto com sobreposição, para evitar a perda de informação nas uniões dos segmentos;
- Avaliar a Teoria de Ressonância Adaptativa (Adaptative Resonance Theory, ART) para reconhecimento de padrões e as vantagens que apresenta frente as RNA MLP (Multy Layer Perceptron). As redes MLP não podem aprender sucessivamente amenos que sejam treinadas novamente com a informação antiga e a nova. Por outro lado, as redes ART e suas variações como por exemplo, ARTMAP, podem aprender novos padrões sem esquecer os já aprendidos no passado o que resulta interessante e conveniente no reconhecimento de atividades de atividades humanas, pois o sistema poderia ser constantemente treinado, tomando em conta a variabilidade com que o ser humano realiza as atividades no decorrer do tempo;
- Gerar outros atributos que permitam diferenciar de forma mais precisa as atividades sentar-se e levantar-se, onde se observou o pior desempenho do classificador. Entre estes atributos está por exemplo, o ângulo de inclinação;
- Avaliar a possível inserção de um giroscópio no sistema SIRAH. No trabalho de Shoaib *et al.*, (2013) foram comparados vários algoritmos de classificação treinados com atributos gerados no domínio do tempo a partir dos sinais de um acelerômetro e de um giroscópio embutidos em um smartphone. Os autores treinaram os algoritmos com atributos do acelerômetro e do giroscópio independentemente;

depois treinaram os algoritmos com os atributos dos dois sensores. Na maioria dos casos demonstrou-se que os dois sensores se complementam no reconhecimento de atividades, apresentando uma maior precisão quando usados de maneira conjunta. Desta forma, implementar a classificação de atividades com os dois sensores incluído no módulo MPU-6050 representa uma opção que poderia melhorar o desempenho do sistema SIRAH e que vale a pena ser avaliada.

Na fase *Online* implementou-se em um microcontrolador os processos de filtragem, geração e normalização de atributos, assim como o modelo obtido no treinamento do primeiro estudo de caso. Desta forma tem-se um sistema portátil e confortável que pode classificar as três posturas e quatro atividades em tempo real.

Entre as aplicações para este sistema mencionaram-se a monitorização da quantidade de atividade que realiza uma pessoa diariamente e a identificação de tempos longos de inatividade. Na fase *Online* do sistema SIRAH, resulta importante no futuro:

- Validar a classificação *Online* realizando testes em ambientes não supervisionados;
- Implementar o sistema SIRAH em um FPGA, dispositivo que permite execução em paralelo, o que será aproveitado para aumentar a velocidade de processamento das acelerações dos três eixos do sensor;
- Analisar as transições entre posturas para melhorar a precisão na classificação das atividades como sentar-se e levantar-se.

Além do reconhecimento de atividades, o sistema SIRAH calcula parâmetros relacionados com a oscilação postural na postura ereta semi-estática. A capacidade de manter o equilíbrio postural diminui com o processo de envelhecimento e algumas doenças, deixando a pessoa com maior risco de sofrer

quedas. Neste cenário, a aplicação do sistema SIRAH torna-se uma ferramenta interessante para análise e quantificação da oscilação corporal, além de monitorar pacientes em casa e ambientes clínicos.

Na avaliação do equilíbrio postural foram estudados dois métodos. O primeiro corrige a inclinação do acelerômetro para obter as acelerações horizontais do CM nos eixos AP e ML, assim como os valores RMS. O segundo método calcula cinco parâmetros do CM: velocidade média, raio médio, frequência média e deslocamentos nos eixos AP e ML. Foram realizados vários testes que permitiram demonstrar a capacidade dos métodos para diferenciar condições utilizadas na avaliação do equilíbrio postural.

Nesta funcionalidade do sistema SIRAH o trabalho futuro estará focado em:

- Realizar testes com maior quantidade de pessoas e mais condições, com o objetivo de encontrar uma correlação entre os parâmetros calculados com o acelerômetro e com o baropodômetro;
- Avaliar a pertinência da implementação da avaliação do equilíbrio postural no próprio sistema, eliminando a transmissão das acelerações até o computador;
- Avaliar a implementação do filtro Kalman com os dados do acelerômetro e giroscópio localizados na região L3 para caracterizar o equilíbrio postural. No trabalho de Jawad *et al.* (2013), os autores utilizaram o filtro Kalman para estimar a orientação do corpo e com esta estimação calcularam a trajetória do CM em diferentes condições. Os autores reportaram um incremento nos deslocamentos do CM na medida em que a dificuldade imposta pela condição medida aumentava. Porém não foi realizada a comparação com uma plataforma de força devido a indisponibilidade do aparelho. Contudo, tomando em conta que o filtro Kalman realiza a fusão dos sensores corrigindo o *drift* do giroscópio e atenuando o ruído do acelerômetro, que permite calcular uma estimação robusta. Acredita-

se que este é um método interessante e que deve também ser pesquisado para comparar com os resultados já obtidos;

- Estudar outros métodos de avaliação do equilíbrio postural, por exemplo os testes *Timed up and go* e a Escala de Equilíbrio de Berg, para analisar as acelerações geradas nas tarefas de cada método, buscando possíveis correlações com acelerômetro e poder implementar assim novas aplicações clínicas e de monitoramento remoto do sistema SIRAH.

REFERÊNCIAS

- ACAMPORA, G. et al. A survey on ambient intelligence in healthcare. **Proceedings of the IEEE**, New York, v. 101, n. 12, p. 2470-2494, Dec 2013. ISSN: 0018-9219 DOI: 10.1109/JPROC.2013.2262913.
- AHMED, E. et al. Internet-of-things-based smart environments: state of the art, taxonomy, and open research challenges. **IEEE Wireless Communications**, Piscataway, v. 23, n. 5, p. 10-16, October 2016. ISSN: 1536-1284 DOI: 10.1109/MWC.2016.7721736.
- AL-JAWAD, A. et al. The use of an orientation kalman filter for the static postural sway analysis. **APCBEE Procedia**, Amsterdam, v. 7, p. 93-102, 2013. ISSN: 2212-6708. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apcbee.2013.08.018>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212670813001206>>. Acesso em: 28 abr. 2014.
- ALSHURAF, N. et al. Designing a robust activity recognition framework for health and exergaming using wearable sensors. **IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics**, Piscataway, v. 18, n. 5, p. 1636-1646, Sept 2014. ISSN: 2168-2194 DOI: 10.1109/JBHI.2013.2287504.
- ANDRIES, M.; SIMONIN, O.; CHARPILLET, F. Localization of humans, objects, and robots interacting on load-sensing floors. **IEEE Sensors Journal**, Piscataway, v. 16, n. 4, p. 1026-1037, Feb 2016. ISSN: 1530-437X DOI: 10.1109/JSEN.2015.2493122.
- ANGUITA, D. et al. Energy efficient smartphone-based activity recognition using fixed-point arithmetic. **Journal of Universal Computer Science**, Graz, v. 19, n. 9, p. 1295-1314, may 2013.
- http://www.jucs.org/jucs_19_9/energy_efficient_smartphone_based/.
- ARIF, M. et al. Better physical Activity Classification using smartphone acceleration sensor. **Journal of Medical Systems**, New York, v. 38, n. 9, p. 95, 2014. ISSN: 1573-689X DOI: 10.1007/s10916-014-0095-0. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10916-014-0095-0>>. Acesso em: 28 abr. 2014.
- AUGUSTO, J. C. et al. Intelligent environments: a manifesto. **Human-centric Computing and Information Sciences**, Heidelberg, v. 3, n. 1, p. 12, 2013. ISSN: 2192-1962 DOI: 10.1186/2192-1962-3-12. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1186/2192-1962-3-12>>. Acesso em: 28 abr. 2014.

BAEK, J. et al. Accelerometer Signal Processing for User Activity Detection. In: NEGOITA, M. G.; HOWLETT, R. J.; JAIN, L. C. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 8th., 2004, Wellington. **Proceedings...** Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2004. p. 610-617. ISBN: 978-3-540-30134-9 DOI: 10.1007/978-3-540-30134-9_82. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-30134-9_82>. Acesso em: 28 abr. 2014.

BANERJEE, T. et al. Day or Night Activity Recognition From Video Using Fuzzy Clustering Techniques. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, Piscataway, v. 22, n. 3, p. 483-493, June 2014. ISSN: 1063-6706 DOI: 10.1109/TFUZZ.2013.2260756.

BASTERRETXEA, K.; ECHANOBÉ, J.; DEL CAMPO, I. A wearable human activity recognition system on a chip. In: CONFERENCE ON DESIGN AND ARCHITECTURES FOR SIGNAL AND IMAGE, 2014, [S. l.] **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2014. p. 1-8.

BEILY, M. D. E. et al. A sensor based on recognition activities using smartphone. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON INTELLIGENT TECHNOLOGY AND ITS APPLICATIONS (ISITIA), 2016, [S. l.] **Proceedings...** [S.l.: s. n.], 2016. p. 393-398.

BISIO, I. et al. Enabling IoT for In-Home Rehabilitation: Accelerometer signals classification methods for activity and movement recognition. **IEEE Internet of Things Journal**, Piscataway, v. PP, n. 99, p. 1-1, 2016. ISSN: 2327-4662 DOI: 10.1109/JIOT.2016.2628938.

BULLING, A.; BLANKE, U.; SCHIELE, B. A Tutorial on human activity recognition using body-worn inertial sensors. **ACM Comput. Surv.**, New York, v. 46, n. 3, p. 33:1--33:33, #jan# 2014. ISSN: 0360-0300 DOI: 10.1145/2499621. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2499621>>. Acesso em: 28 abr. 2014.

CAPELA, N. A. A. L. E. D. A. B. N. Feature selection for wearable smartphone-based human activity recognition with able bodied, elderly, and stroke patients. **PLOS ONE**, v. 10, n. 4, p. 1-18, abr. 2015. ISSN DOI: 10.1371/journal.pone.0124414. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1371%2Fjournal.pone.0124414>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

CHEN, Y.; XUE, Y. A deep learning approach to human activity recognition based on single accelerometer. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS, 2015, [S. l.] **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2015. p. 1488-1492.

CHENG, J. et al. Designing Sensitive Wearable Capacitive Sensors for Activity Recognition. **IEEE Sensors Journal**, Piscataway, v. 13, n. 10, p. 3935-3947, Oct 2013. ISSN: 1530-437X DOI: 10.1109/JSEN.2013.2259693.

- CHUN, S.; LEE, C. S. Human action recognition using histogram of motion intensity and direction from multiple views. **IET Computer Vision**, Stevenage, v. 10, n. 4, p. 250-256, 2016. ISSN: 1751-9632 DOI: 10.1049/iet-cvi.2015.0233.
- COOK, D. J.; AUGUSTO, J. C.; JAKKULA, V. R. Ambient intelligence: technologies, applications, and opportunities. **Pervasive and Mobile Computing**, Amsterdam, v. 5, n. 4, p. 277-298, 2009. ISSN: 1574-1192 DOI: 10.1016/j.pmcj.2009.04.001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S157411920900025X>>. Acesso em: 20 mar. 2013.
- CORNACCHIA, M. et al. A Survey on activity detection and classification using wearable sensors. **IEEE Sensors Journal**, Piscataway, v. 17, n. 2, p. 386-403, Jan 2017. ISSN: 1530-437X DOI: 10.1109/JSEN.2016.2628346.
- COSTILLA-REYES, O.; SCULLY, P.; OZANYAN, K. B. Temporal pattern recognition in gait activities recorded with a footprint imaging sensor system. **IEEE Sensors Journal**, Piscataway, v. 16, n. 24, p. 8815-8822, Dec 2016. ISSN: 1530-437X DOI: 10.1109/JSEN.2016.2583260.
- DA SILVA, F. G.; GALEAZZO, E. Accelerometer based intelligent system for human movement recognition. In: IEEE INTERNATIONAL WORKSHOP ON ADVANCES IN SENSORS AND INTERFACES IWASI, 5th, 2013, [S. l.]. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2013. p. 20-24.
- DAHER, M. et al. Elder tracking and fall detection system using smart tiles. **IEEE Sensors Journal**, Piscataway, v. 17, n. 2, p. 469-479, Jan 2017. ISSN: 1530-437X DOI: 10.1109/JSEN.2016.2625099.
- DE, D. et al. Multimodal wearable sensing for fine-grained activity recognition in healthcare. **IEEE Internet Computing**, Piscataway, v. 19, n. 5, p. 26-35, Sept 2015. ISSN: 1089-7801 DOI: 10.1109/MIC.2015.72.
- DOHERTY, A. R. et al. Using wearable cameras to categorise type and context of accelerometer-identified episodes of physical activity. **International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity**, London, v. 10, n. 1, p. 22, 2013. ISSN: 1479-5868 DOI: 10.1186/1479-5868-10-22. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1186/1479-5868-10-22>>. Acesso em: 28 jan. 2017.
- DUARTE, M. A. F. S. M. S. F. Revisão sobre posturografia baseada em plataforma de força para avaliação do equilíbrio. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, Sao Carlos, v. 14, p. 183-192, jun. 2010. ISSN: 1413-3555. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-35552010000300003&nrm=iso>. Acesso em: 15 fev. 2017.

ERDEN, F. et al. Sensors in Assisted Living: A survey of signal and image processing methods. **IEEE Signal Processing Magazine**, Piscataway, v. 33, n. 2, p. 36-44, March 2016. ISSN: 1053-5888 DOI: 10.1109/MSP.2015.2489978.

ERDEN, F.; ÇETIN, A. E. Hand gesture based remote control system using infrared sensors and a camera. **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, Piscataway, v. 60, n. 4, p. 675-680, Nov 2014. ISSN: 0098-3063 DOI: 10.1109/TCE.2014.7027342.

FORTIN-SIMARD, D. et al. Exploiting Passive RFID Technology for Activity Recognition in Smart Homes. **IEEE Intelligent Systems**, Piscataway, v. 30, n. 4, p. 7-15, July 2015. ISSN: 1541-1672 DOI: 10.1109/MIS.2015.18.

FORTUNE, E. et al. Activity level classification algorithm using SHIMMER wearable sensors for individuals with rheumatoid arthritis. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, 2011, [S. I.]. **Proceedings...** [S.I.: s.n.], 2011. p. 3059-3062.

GAGLIO, S.; RE, G. L.; MORANA, M. Human activity recognition process using 3-d posture data. **IEEE Transactions on Human-Machine Systems**, Piscataway, v. 45, n. 5, p. 586-597, Oct 2015. ISSN: 2168-2291 DOI: 10.1109/THMS.2014.2377111.

GUPTA, P.; DALLAS, T. Feature Selection and Activity Recognition System Using a Single Triaxial Accelerometer. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, Piscataway, v. 61, n. 6, p. 1780-1786, June 2014. ISSN: 0018-9294 DOI: 10.1109/TBME.2014.2307069.

HAJIHASHEMI, Z.; YEFIMOVA, M.; POPESCU, M. Detecting daily routines of older adults using sensor time series clustering. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, 36th, 2014, [S. I.]. **Proceedings...** [S.I.: s.n.]. 2014. p. 5912-5915.
HAN, J.; KAMBER, M. **Data mining concepts and techniques**. [S.I.]: Morgan Kaufmann, 2006.

HAYKIN, S. **Redes neurais princípios e prática**. [S.I.]: Prentice Hall, 1999.
HONG, Y. J. et al. Activity recognition using wearable sensors for elder care. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUTURE GENERATION COMMUNICATION AND NETWORKING, 2., 2008, [S. I.]. **Proceedings...** [S.I.: s.n.]. Dec 2008. p. 302-305.

HONG, Y.-J. et al. Mobile health monitoring system based on activity recognition using accelerometer. **Simulation Modelling Practice and Theory**, Amsterdam, v. 18, n. 4, p. 446-455, 2010. ISSN: 1569-190X DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.simpat.2009.09.002>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1569190X09001269>. Acesso em: 28 abr. 2014.

ISLAM, S. M. R. et al. The Internet of Things for Health Care: A Comprehensive Survey. **IEEE Access**, Piscataway, v. 3, p. 678-708, 2015. ISSN: 2169-3536 DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2437951. Acesso em: 5 jan. 2017.

JIA, R.; LIU, B. Human daily activity recognition by fusing accelerometer and multi-lead ECG data. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SIGNAL PROCESSING, COMMUNICATION AND COMPUTING (ICSPCC 2013), 2013, [S. l.]. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2013. p. 1-4.

KAILAS, A. Basic human motion tracking using a pair of gyro + accelerometer MEMS devices. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON E-HEALTH NETWORKING, APPLICATIONS AND SERVICES (HEALTHCOM), 14th, 2012, [S. l.]. **Proceedings...** [S.l.: s. n.], 2012. p. 298-302.

KARANTONIS, D. M. et al. Implementation of a real-time human movement classifier using a triaxial accelerometer for ambulatory monitoring. **IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine**, Piscataway, v. 10, n. 1, p. 156-167, 2006. ISSN: 1089-7771 DOI: 10.1109/TITB.2005.856864.

KWAPISZ, J. R.; WEISS, G. M.; MOORE, S. A. Activity recognition using cell phone accelerometers. **SIGKDD Explor. Newsl.**, New York, v. 12, n. 2, p. 74-82, #mar# 2011. ISSN: 1931-0145 DOI: 10.1145/1964897.1964918. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1964897.1964918>. Acesso em: 10 mar. 2017.

LARA, O. D.; LABRADOR, M. A. A Survey on Human Activity Recognition using Wearable Sensors. **IEEE Communications Surveys Tutorials**, Piscataway, v. 15, n. 3, p. 1192-1209, Third 2013. ISSN: 1553-877X DOI: 10.1109/SURV.2012.110112.00192.

LI, M. et al. Multimodal Physical Activity Recognition by Fusing Temporal and Cepstral Information. **IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering**, Piscataway, v. 18, n. 4, p. 369-380, 2010. ISSN: 1534-4320 DOI: 10.1109/TNSRE.2010.2053217.

LIN, C. W. et al. A Wearable Sensor Module With a Neural-Network-Based Activity Classification Algorithm for Daily Energy Expenditure Estimation. **IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine**, Piscataway, v. 16, n. 5, p. 991-998, Sept 2012. ISSN: 1089-7771 DOI: 10.1109/TITB.2012.2206602.

LUBINA, P.; RUDZKI, M. Artificial neural networks in accelerometer-based human activity recognition. In: INTERNATIONAL CONFERENCE MIXED DESIGN OF INTEGRATED CIRCUITS SYSTEMS (MIXDES), 22nd, 2015, [S. I.].

Proceedings... [S.l.: s.n.], 2015. p. 63-68.

MANNINI, A.; SABATINI, A. M. On-line classification of human activity and estimation of walk-run speed from acceleration data using support vector machines. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, 2011, [S. I.].

Proceedings... [S.l.: s. n.], 2011. p. 3302-3305.

MARGARITO, J. et al. User-Independent Recognition of Sports Activities From a Single Wrist-Worn Accelerometer: A Template-Matching-Based Approach. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, Piscataway, v. 63, n. 4, p. 788-796, April 2016. ISSN: 0018-9294 DOI: 10.1109/TBME.2015.2471094.

MATHIE, M. J. et al. Accelerometry: providing an integrated, practical method for long-term, ambulatory monitoring of human movement. **Physiological Measurement**, Bristol, v. 25, n. 2, p. R1, 2004. Disponível em: <<http://stacks.iop.org/0967-3334/25/i=2/a=R01>>. Acesso em: 28 abr. 2014.

MAURER, U. et al. Location and Activity Recognition Using eWatch: A Wearable Sensor Platform. In: CAI, Y.; ABASCAL, J. **Ambient Intelligence in Everyday Life**. [S.I.]: Springer Berlin Heidelberg, v. 3864, 2006. p. 86-102. ISBN ISBN: 978-3-540-37785-6 DOI: 10.1007/11825890_4. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/11825890_4>. Acesso em: 20 jun. 2016.

MAYAGOITIA, R. E. et al. Standing balance evaluation using a triaxial accelerometer. **Gait & Posture**, v. 16, n. 1, p. 55-59, 2002. ISSN: 0966-6362 DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0966-6362\(01\)00199-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0966-6362(01)00199-0). Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966636201001990>>. Acesso em: 02 nov. 2017.

MCCARTHY, M. W. et al. Decision-tree-based human activity classification algorithm using single-channel foot-mounted gyroscope. **Electronics Letters**, Stevenage, v. 51, n. 9, p. 675-676, 2015. ISSN: 0013-5194 DOI: 10.1049/el.2015.0436.

MIN, C. H.; INCE, N. F.; TEWFIK, A. H. Generalization capability of a wearable early morning activity detection system. In: EUROPEAN SIGNAL PROCESSING CONFERENCE, 15th, 2007, [S. I.]. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2007. p. 1556-1560.

MIN, C. H.; INCE, N. F.; TEWFIK, A. H. Classification of continuously executed early morning activities using wearable wireless sensors. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, 20th, 2008, [S. I.]. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2008. p. 5192-5195.

MIN, C. H.; INCE, N. F.; TEWFIK, A. H. Early morning activity detection using acoustics and wearable wireless sensors. In: EUROPEAN SIGNAL PROCESSING CONFERENCE, 16th, 2008, [S. l.]. **Proceedings...** [S.l.: s.n.]. 2008. p. 1-5.

MIN, J. K.; CHO, S. B. Activity recognition based on wearable sensors using selection/fusion hybrid ensemble. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS, 2011, [S. l.]. **Proceedings...** [S. l.:s. n.], 2011. p. 1319-1324.

MOE-NILSSEN, R.; HELBOSTAD, J. L. Trunk accelerometry as a measure of balance control during quiet standing. **Gait & Posture**, Amsterdam, v. 16, n. 1, p. 60-68, 2002. ISSN: 0966-6362 DOI: 10.1016/S0966-6362(01)00200-4. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0966-6362\(01\)00200-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0966-6362(01)00200-4)>. Acesso em: 28 abr. 2014.

MOHANTY, S. P.; CHOPPALI, U.; KOUIGIANOS, E. Everything you wanted to know about smart cities: The Internet of things is the backbone. **IEEE Consumer Electronics Magazine**, New York, v. 5, n. 3, p. 60-70, July 2016. ISSN: 2162-2248 DOI: 10.1109/MCE.2016.2556879.

NAM, Y.; RHO, S.; LEE, C. Physical activity recognition using multiple sensors embedded in a wearable device. **ACM Trans. Embed. Comput. Syst.**, New York, NY, USA, v. 12, n. 2, p. 26:1--26:14, #feb# 2013. ISSN: 1539-9087 DOI: 10.1145/2423636.2423644. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2423636.2423644>>. Acesso em: 28 abr. 2014.

PANNURAT, N.; THIEMJARUS, S.; NANTAJEEWARAWAT, E. A hybrid temporal reasoning framework for fall monitoring. **IEEE Sensors Journal**, v. PP, n. 99, p. 1-1, 2017. ISSN: 1530-437X DOI: 10.1109/JSEN.2017.2649542.

PARADA, R. et al. Using RFID to Detect Interactions in Ambient Assisted Living Environments. **IEEE Intelligent Systems**, Piscataway, v. 30, n. 4, p. 16-22, July 2015. ISSN: 1541-1672 DOI: 10.1109/MIS.2015.43.

PEARSON, K. On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space. **Philosophical Magazine**, Abingdon, v. 2, n. 11, p. 559-572, 1901.

PERERA, C.; LIU, C. H.; JAYAWARDENA, S. The emerging internet of things marketplace from an industrial perspective: a survey. **IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing**, Piscataway, v. 3, n. 4, p. 585-598, Dec 2015. ISSN: 2168-6750 DOI: 10.1109/TETC.2015.2390034.

PREECE, S. J. et al. A Comparison of feature extraction methods for the classification of dynamic activities from accelerometer data. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, Piscataway, v. 56, n. 3, p. 871-879, March 2009. ISSN: 0018-9294 DOI: 10.1109/TBME.2008.2006190.

PREECE, S. J. et al. Activity identification using body-mounted sensors—a review of classification techniques. **Physiological Measurement**, Bristol, v. 30, n. 4, p. R1, 2009. Disponível em: <<http://stacks.iop.org/0967-3334/30/i=4/a=R01>>. Acesso em: 28 abr. 2014.

RAFIQ, G. et al. What's new in intelligent transportation systems?: an overview of european projects and initiatives. **IEEE Vehicular Technology Magazine**, Piscataway, v. 8, n. 4, p. 45-69, Dec 2013. ISSN: 1556-6072 DOI: 10.1109/MVT.2013.2281660.

RAVI, N. et al. Activity recognition from accelerometer data. In: CONFERENCE ON INNOVATIVE APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 17th, 2005, [S. l.]. **Proceedings...** [S.l.]: AAAI, 2005. p. 1541-1546.

RUSSELL, S. . N. P. **Artificial Intelligence: a modern approach**. [S.l.]: [s.n.], 2009.

SAFADI, E. A. et al. Generalized activity recognition using accelerometer in wearable devices for IoT applications. In: IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS), 13th, 2016, [S.l.]. **Proceedings...** [S. l.: s.n.], 2016. p. 73-79.

SAUNDERS, N. W. **Reliability and validity of an accelerometer-based balance assessment for fall risk screening**. Ohio: The Ohio State University, 2013.

SERRA, R. et al. Activity Recognition With Smart Polymer Floor Sensor: Application to Human Footstep Recognition. **IEEE Sensors Journal**, Piscataway, v. 16, n. 14, p. 5757-5775, 2016. ISSN: 1530-437X DOI: 10.1109/JSEN.2016.2554360.

SHIMOKAWARA, E. et al. Estimation of basic activities of daily living using zigbee 3d accelerometer sensor network. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOMETRICS AND KANSEI ENGINEERING, 2013, [S. l.]. **Proceedings...** [S.l.: s. n.], 2013. p. 251-256.

SHOAB, M.; SCHOLTEN, H.; HAVINGA, P. J. M. Towards physical activity recognition using smartphone sensors. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON UBIQUITOUS INTELLIGENCE AND COMPUTING, 10th., 2013, [S. l.]. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2013. p. 80-87.

SKUBIC, M.; GUEVARA, R. D.; RANTZ, M. Automated health alerts using in-home sensor data for embedded health assessment. **IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine**, New York, v. 3, p. 1-11, 2015. ISSN: 2168-2372 DOI: 10.1109/JTEHM.2015.2421499.

SOARES, A. V. A contribuição visual para o controle postural. **Revista Neurociências**, São Paulo, v. 18, p. 370-379, 2010.

SURYADEVARA, N. K.; MUKHOPADHYAY, S. C. Determining wellness through an ambient assisted living environment. **IEEE Intelligent Systems**, Piscataway, v. 29, n. 3, p. 30-37, May 2014. ISSN: 1541-1672 DOI: 10.1109/MIS.2014.16.

TAPIA, E. M. et al. Real-time recognition of physical activities and their intensities using wireless accelerometers and a heart rate monitor. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WEARABLE COMPUTERS, 11th, 2007, [S. l.]. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2007. p. 37-40.

TEIXEIRA, C. Equilíbrio e controle postural. **Brazilian Journal of Biomechanics = Revista Brasileira de Biomecânica**, São Paulo, v. 11, n. 20, 2013. ISSN: 1983-2710. Disponível em: <<http://citrus.uspnet.usp.br/biomecan/ojs/index.php/rbb/article/view/151>>. Acesso em: 20 jan 2017.

TORRES, R. L. S. et al. Sensor enabled wearable RFID technology for mitigating the risk of falls near beds. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON RFID (RFID), 2013, [S. l.]. **Proceedings...** [S. l.: s. n.], 2013. p. 191-198.

WANG, B. et al. Laplacian LRR on Product Grassmann Manifolds for Human Activity Clustering in Multi-Camera Video Surveillance. **IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology**, Piscataway, v. PP, n. 99, p. 1-1, 2016. ISSN: 1051-8215 DOI: 10.1109/TCSVT.2016.2609760.

WANG, J.-S. et al. A PACE Sensor system with machine learning-based energy expenditure regression algorithm. In: HUANG, D.-S. et al. **Bio-inspired computing and applications**. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 529-536. ISBN: 978-3-642-24553-4 DOI: 10.1007/978-3-642-24553-4_70. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-24553-4_70>. Acesso em: 20 maio. 2015.

WANG, L. et al. Toward a Wearable RFID System for Real-Time Activity Recognition Using Radio Patterns. **IEEE Transactions on Mobile Computing**, Piscataway, v. 16, n. 1, p. 228-242, Jan 2017. ISSN: 1536-1233 DOI: 10.1109/TMC.2016.2538230.

WANG, S. et al. Human activity recognition with user-free accelerometers in the sensor networks. IN: INTERNATIONAL CONFERENCE ON, ICNN B '05, 2005, [S. l.]. **Proceedings...** [S. l.: s. n.], 2005. p. 1212-1217.

WANG, Z. et al. A Triaxial Accelerometer-Based Human Activity Recognition via EEMD-Based Features and Game-Theory-Based Feature Selection. **IEEE Sensors Journal**, Piscataway, v. 16, n. 9, p. 3198-3207, May 2016. ISSN: 1530-437X DOI: 10.1109/JSEN.2016.2519679.

WANNENBURG, J.; MALEKIAN, R. Physical activity recognition from smartphone accelerometer data for user context awareness sensing. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems**, Piscataway, v. PP, n. 99, p. 1-8, 2016. ISSN: 2168-2216 DOI: 10.1109/TSMC.2016.2562509.

WEISER, M. The computer for the 21st century. **SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.**, New York, v. 3, n. 3, p. 3-11, 1999. ISSN: 1559-1662 DOI: 10.1145/329124.329126. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/329124.329126>>. Acesso em: 06 mar. 2013.

WU, H. H.; LEMAIRE, E. D.; BADDOUR, N. Change-of-state determination to recognize mobility activities using a BlackBerry smartphone. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, 2011, [S. l.]. **Proceedings...** [S. l.: s. n.], 2011. p. 5252-5255.

WUJCIK, E. K. et al. Ion Sensor for the Quantification of Sodium in Sweat Samples. **IEEE Sensors Journal**, Piscataway, v. 13, n. 9, p. 3430-3436, Sept 2013. ISSN: 1530-437X DOI: 10.1109/JSEN.2013.2257168.

YACHIR, A. et al. Event-Aware Framework for Dynamic Services Discovery and Selection in the Context of Ambient Intelligence and Internet of Things. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, Piscataway, v. 13, n. 1, p. 85-102, Jan 2016. ISSN: 1545-5955 DOI: 10.1109/TASE.2015.2499792.

YANG, X.; TIAN, Y. Super normal vector for human activity recognition with depth cameras. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, Piscataway, v. PP, n. 99, p. 1-1, 2016. ISSN: 0162-8828 DOI: 10.1109/TPAMI.2016.2565479.

YAZAR, A. et al. Fall detection using single-tree complex wavelet transform. **Pattern Recogn. Lett.**, New York, v. 34, n. 15, p. 1945-1952, #nov# 2013. ISSN: 0167-8655 DOI: 10.1016/j.patrec.2012.12.010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.patrec.2012.12.010>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

ZHAN, K.; FAUX, S.; RAMOS, F. Multi-scale conditional random fields for first-person activity recognition on elders and disabled patients. **Pervasive and Mobile Computing**, Amsterdam, v. 16, Part B, p. 251-267, 2015. ISSN: 1574-1192 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmcj.2014.11.004>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574119214001850>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

ZHANG, S. et al. Activity monitoring using a smart phone's accelerometer with hierarchical classification. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT ENVIRONMENTS, 2010, [S. l.]. **Proceedings...** [S. l.: s. n.], 2010. p. 158-163.

ZHOU, B. et al. Smart table surface: a novel approach to pervasive dining monitoring. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON PERVASIVE COMPUTING AND COMMUNICATIONS (PERCOM), 2015, [S. l.]. **Proceedings...** [S.l.: s. n.], 2015. p. 155-162.