



Sistema eletrônico inteligente (hardware/software) de diagnóstico e detecção de falhas para aparelhos convencionais de ar condicionado

Vicente F. De Lucena Jr¹, Mário A. Costa Júnior²

Resumo

Aparelhos domésticos geralmente utilizados no dia a dia estão gradualmente evoluindo para se adaptar à Internet das Coisas (IoT do termo Internet of Things). A forma mais convencional de identificar falhas nestes aparelhos é através dos usuários finais. O baixo desempenho é percebido somente em casos extremos, quando o aparelho geralmente interrompe o funcionamento. Este trabalho descreve um sistema inteligente de baixo custo, que monitora o comportamento de grandezas não invasivas envolvidas em aparelhos de uso doméstico. O sistema é capaz de analisar os dados coletados, detectar possíveis falhas e informar ao usuário sobre o diagnóstico da sua situação atual. Para aplicação do sistema, uma interface “IoT” foi desenvolvida de forma a ser adaptável para qualquer aparelho eletrodoméstico doméstico. A interação com o usuário é através de um sistema web por meio de navegadores web de dispositivos móveis e computadores, que informa o usuário sobre a necessidade de intervenção.

Palavras-Chave: digital twin, detecção e diagnóstico de falhas, ar condicionado convencional

Intelligent electronic (hardware / software) diagnostic and fault detection system for conventional air conditioners. Household appliances commonly used on a day to day basis are gradually evolving to adapt to the IoT (Internet of Things). The most conventional way of identifying faults in these devices is through end users. Low performance is only noticed in extreme cases, when the device usually stops functioning. This work describes a low cost digital twin based intelligent system that monitors the behavior of noninvasive quantities involved in household appliances. The system is able to analyze the collected data, detect possible faults and inform the user about the diagnosis of their current situation. For system validation, an "IoT" interface has been developed to be adaptable to any conventional household appliance. The interaction with the user is through web browsers of mobile devices and computers, which informs the user about the need for intervention.

Key-words: digital twin, fault detection and diagnosis, air conditioning

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UFAM – Universidade Federal do Amazonas, Av. General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, 1200 - Coroado I, Manaus - AM, 69067-005 Brasil, vicente@ufam.edu.br

² Curso de Eng. Da Computação, UFAM – Universidade Federal do Amazonas, Av. General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, 1200 - Coroado I, Manaus - AM, 69067-005 Brasil, marioacjr@gmail.com

1. Introdução

Equipamentos de uso doméstico, entre eles os aparelhos de ar condicionado, geladeiras, freezer entre outros, são produtos que pouco possuem ou praticamente são desprovidos de supervisão em tempo real em relação ao seu desempenho e às suas falhas de operação. A supervisão destes equipamentos em serviços, possui um papel chave em manter os níveis confiabilidade e segurança.

Ambientes inteligentes podem ser definidos como uma evolução de sistemas de automação convencionais que de forma ubíqua e pervasiva têm por objetivo facilitar a execução de tarefas diárias (REMAGNINO; FORESTI, 2005; ROMERO; POUSMAN; MATEAS, 2008; VAN DER POEL et al., 2004). Estes novos sistemas apresentam um alto grau de automação de processos e produtos e mesclam diferentes tecnologias, hoje existentes de forma isolada, dentro de um ambiente habitado integrado (GÁRATE et al., 2005; HARWIG; AARTS, 2002). O seu objetivo é prover sistemas automatizados capazes de suprir necessidades como conforto, entretenimento, auxílio no cuidado de enfermos e idosos, segurança do ambiente, economia de recursos (energia, água, etc.), além de outras funcionalidades que se adaptam às necessidades do ser humano inserido nestes ambientes (LITZ; GROSS, 2007; SÁNCHEZ; TENTORI; FAVELA, 2008; VAN DER STOK, 2005; VERHAEGH; AARTS; KORST, 2006).

Inserido neste contexto, quando se pretende monitorar equipamentos domésticos, faz-se necessário implantar um sistema de detecção e diagnóstico de falha (DDF). O seu objetivo é identificar vantagens do uso das técnicas da coleta de dados em tempo real de equipamentos domésticos e comparar com os dados especificados por classe de equipamentos, com parâmetro de rendimento pré-estabelecido para cada aplicação.

No projeto proposto, será realizada a coleta em tempo real de dados dos sensores instalados em um aparelho de ar condicionado instalado nas dependências da UFAM e a detecção e diagnóstico de falhas através da utilização de técnicas de inteligência artificial. O objetivo é reduzir custos de manutenção e o tempo não operacional devido a ocorrência de uma falha.

2. Material e Método

Para que um sistema de detecção e diagnóstico de falhas possa cumprir seu objetivo, é necessário que ele tenha acesso às informações do estado atual do sistema monitorado. Para isso, a

utilização de sensores adequados e de uma arquitetura adequada é de vital importância. Da mesma forma, o modelo computacional que irá detectar as falhas, gerar os diagnósticos e propor as ações recomendadas ao usuário também influenciará na qualidade dos resultados obtidos.

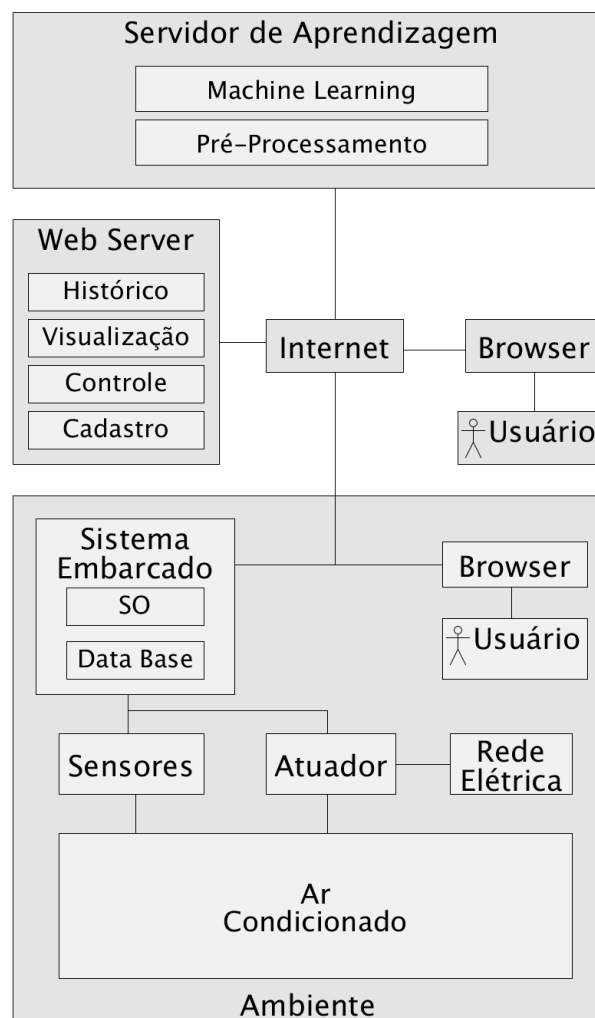


Figura 1-Arquitetura do sistema

O sistema de aquisição e armazenamento de dados é constituído por um conjunto formado entre a placa com um sistema embarcado, sensores instalados no aparelho de ar condicionado e um sistema web, conforme mostrado pelo diagrama da Figuras 1 e 2. A leitura dos sensores é programada através das linguagens python, C++ e Arduino, que estão disponíveis no SO Linux embarcado. O armazenamento dos dados é feito em um primeiro momento em banco de dados SQLite na própria IG, caso o protótipo esteja sem acesso à internet, e em seguida transferido para um banco de dados externo localizado em um provedor de hospedagem dedicado.

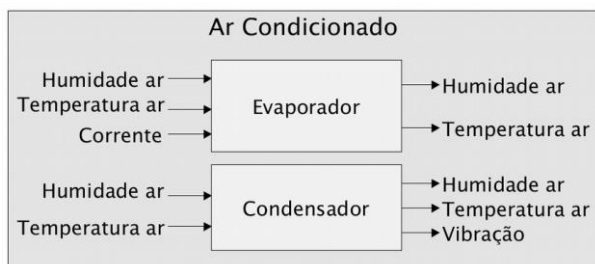


Figura 2-Sensores instalados

Com todos os sensores instalados e as suas informações sendo salvas no banco de dados externos, é realizada uma etapa denominada de simulação de falhas, onde são realizados alguns procedimentos específicos a fim de reproduzir as causas de suas ocorrências. Em cada um dos tipos de falhas simulados, o aparelho de ar condicionado ficará funcionando por um determinado período e os dados lidos pelos sensores serão armazenados no banco de dados do web server e rotulados conforme a falha simulada. Uma tabela com as falhas selecionadas, e diagnósticos para este projeto são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1- Diagnósticos.

Código	Diagnóstico
E001	Nível de tensão abaixo da nominal na rede elétrica.
E002	Nível de tensão acima da nominal na rede elétrica.
E003	Obstrução do fluxo de ar do evaporador.
E004	Obstrução do fluxo de ar do condensador.
E005	Aparelho desligado.
E006	Funcionamento normal

Para a simulação da obstrução dos fluxos de ar do evaporador e condensador foi colado papel sulfite nas suas respectivas entradas e saídas de ar, conforme mostrado na figura 3 abaixo.

O processamento dos dados é realizado em um servidor externo, denominado Servidor de Aprendizagem. Com o auxílio do software WEKA 3, foi realizado o treinamento e validação cruzada de quatro técnicas de aprendizagem de máquina disponíveis a fim de gerar e selecionar um modelo capaz de detectar e diagnosticar as falhas a partir dos dados coletados durante a simulação de falhas. Uma pequena amostra dos dados é mostrada na Tabela 2.

Dentre os classificadores disponíveis, foram utilizados o J48, do tipo árvore de decisão, NaiveBayes, do tipo probabilístico, OneR, que utiliza um algoritmo de erro mínimo, e TD, que utiliza um algoritmo de tabela de decisão. A partir do modelo gerado, uma atuação poderá ser

realizada caso seja detectada uma condição de anomalia no aparelho. Ela poderá ser apenas uma sinalização ao usuário do problema detectado ou, até mesmo, o bloqueio do seu funcionamento, caso a anomalia detectada seja muito grave.

Tabela 2 - Dados coletados

id	ic1	p	hi1	ti1	ho1	to1	hi2	ti2	ho2	to2	diag
412	6.24	1	86	27	77	26	69	27	39	44	condensador
413	6.50	1	86	27	76	26	69	27	39	44	condensador
414	6.31	1	82	27	76	26	69	27	39	44	condensador
415	6.29	1	82	27	75	26	68	28	39	44	condensador
416	6.34	1	78	27	69	20	68	28	24	46	condensador
417	6.55	1	78	27	73	16	67	28	24	46	condensador
418	6.30	1	79	26	75	15	67	28	24	46	condensador
419	6.41	1	79	26	77	17	66	28	12	46	condensador
804	6.19	1	67	31	69	24	56	27	30	37	evaporador
805	6.32	1	68	30	71	23	56	27	30	37	evaporador
806	6.23	1	68	30	71	23	58	26	24	39	evaporador
807	6.64	1	67	30	76	21	60	26	23	39	evaporador
808	6.14	1	67	30	76	21	62	25	22	39	evaporador
809	6.14	1	67	30	82	20	64	25	20	39	evaporador
810	6.17	1	67	30	82	20	64	25	20	39	evaporador
811	6.00	1	66	29	84	19	66	25	18	39	evaporador
1000	6.25	1	56	26	86	16	61	30	10	45	normal
1001	6.22	1	56	26	86	16	61	30	10	45	normal
1002	6.34	1	56	26	86	16	61	30	11	44	normal
1003	6.61	1	56	26	86	14	61	30	11	44	normal
1004	6.39	1	55	26	85	16	61	30	10	45	normal
1005	6.40	1	55	26	84	16	60	30	10	45	normal
1006	6.44	1	55	26	84	14	60	30	10	45	normal
1007	6.56	1	55	26	85	16	60	30	10	45	normal
1008	6.23	1	55	26	84	16	61	29	11	44	normal

Porta, hi1: Umidade de Entrada do Evaporador, ti1: Temperatura de Entrada do Evaporador, ho1: Umidade de Saída do Evaporador, to1: Temperatura de Saída do Evaporador, hi2: Umidade de Entrada do Condensador, ti2: Temperatura de Entrada do Condensador, ho2: Umidade de Saída do Condensador, to2: Temperatura de Saída do Condensador, diag: Diagnóstico.

3. Resultados e Discussão

Ao total foram coletados 48573 registros dos sensores. A coluna de diagnóstico foi rotulada de acordo com o defeito simulado ou com o comportamento normal do sistema. O conjunto de dados gerado foi submetido a três algoritmos de aprendizado de máquina: Árvore de Decisão (J48), NaiveBayes e Tabela de Decisão. Todo o processo foi realizado através do software Weka3 Data Mining, usando o método de validação cruzada n-fold com n=10.

Os resultados da validação cruzada dos algoritmos utilizados estão apresentados na tabela 3. Dentre os quatro, a árvore e a tabela de decisão apresentaram resultados semelhantes e superiores ao NaiveBayes e OneR. Desta forma, a árvore de decisão J48 foi escolhida para a implementação do modelo no sistema embarcado por apresentar resultados melhores na classificação dos defeitos simulados no ar-condicionado. Ao total ela possui 10 nós e 11 folhas e obteve um acerto de 99.98% na validação cruzada e está representada pela figura 10. Resultados preliminares mostram um

bom comportamento do sistema após simulações de mal funcionamento das variáveis controladas

Tabela 3 - Comparação dos algoritmos

Métrica	J48	TD	NaiveBayes	OneR
ICC	99,98%	99,47%	89,78%	86,06%
ICI	0,02%	0,53%	10,22%	13,94%
MAE	0,0002	0,0218	0,0749	0,0929
RMSE	0,0105	0,0697	0,2336	0,3048
RAE	0,05%	5,76%	19,79%	24,55%
RRSE	2,41%	16,02%	53,70%	70,08%
TP	1	0,995	0,898	0,861
TF	0	0,006	0,023	0,056
PM	1	0,995	0,921	0,802
RM	1	0,995	0,898	0,861

ICC: Instâncias Classificadas Corretamente; ICI: Instâncias Classificadas Incorretamente; MAE: Erro Médio Absoluto; RMSE: Erro Médio Quadrático; RAE: Erro Relativo Absoluto; RRSE: Erro Quadrático Relativo; TP: Taxa de Verdadeiro Positivo das Classes; TF: Taxa de Falso Positivo das Classes; PM: Precisão Média das Classes; RM: Precisão Média das Classes

O sistema é capaz de monitorar em tempo real as variáveis selecionadas e executar a detecção e diagnóstico de falhas propostas. Quando algum comportamento mostra um funcionamento fora dos padrões estabelecidos ou um risco iminente de danos ao equipamento, uma mensagem de diagnóstico é enviada ao usuário. O usuário leigo é capaz de, através do sistema proposto, identificar falhas que atualmente apenas técnicos especializados conseguem observar. No cenário atual, as condições de funcionamento em tempo real e o diagnóstico realizado podem ser facilmente visualizados e ou enviado diretamente ao usuário ou empresa de manutenção, que poderá proceder com a reparação, ajuste ou troca do mesmo.

4. Conclusão

Através da montagem dos sensores e hardware e do desenvolvimento do software, foi possível realizar o monitoramento e o armazenamento das informações sobre o funcionamento do aparelho estudado. Por meio dessas informações armazenadas, construiu-se um modelo capaz de realizar a detecção e o diagnóstico das falhas mais comuns em aparelhos de ar condicionado doméstico.

O sistema proposto é capaz de contribuir para o prolongamento da vida útil dos equipamentos monitorados, uma vez que foi capaz de detectar suas falhas antes que elas se tornassem graves. Ele também foi capaz de realizar a inserção destes aparelhos antigos nos padrões dos equipamentos atuais, através do uso da interface IoT.

Como trabalho futuro, pretende-se integrar o sistema a um ambiente inteligente dotado de outros aparelhos monitorados. A ideia é mantê-lo operando a fim de detectar falhas e, através de um serviço digital, decidir se o aparelho pode ser consertado pelo próprio dono e orientá-lo sobre como fazê-lo ou se será necessário pedir ajuda profissional especializada. Nesses dois casos, por meio de um conjunto de fornecedores e serviços de manutenção registrados previamente, o usuário poderá solicitar a manutenção ou as peças necessárias.

Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão de bolsa ao projeto através do programa PIBITI e estímulo ao desenvolvimento de projetos de inovação tecnológica.

A Universidade Federal do Amazonas (UFAM), pela oportunidade de desenvolver este trabalho e pelo apoio e suporte oferecidos.

Ao Laboratório de Termodinâmica pela disponibilização do local e do aparelho usado na realização do estudo.

Ao orientador, Prof. Dr.-Ing Vicente Ferreira de Lucena Junior, pelos conselhos, idéias e confiança depositada em mim durante a realização deste trabalho.

Divulgação

Este artigo é inédito e não está sendo considerado para qualquer outra publicação. O(s) autor(es) e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista Scientia Amazonia detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.

Referências

- GÁRATE, A. et al. Ambient intelligence as paradigm of a full automation process at home in a real application. Computational Intelligence in Robotics and Automation, 2005. CIRA 2005. Proceedings. 2005 IEEE International Symposium on. Anais...IEEE, 2005
- HARWIG, R.; AARTS, E. Ambient intelligence: invisible electronics emerging. Interconnect Technology Conference, 2002. Proceedings of the IEEE 2002 International. Anais...IEEE, 2002
- LITZ, L.; GROSS, M. Covering assisted living key areas based on home automation sensors. Networking, Sensing and Control, 2007 IEEE International Conference on. Anais...IEEE, 2007



PIBIT/2016-2017 – Universidade Federal do Amazonas

REMAGNINO, P.; FORESTI, G. L. Ambient intelligence: A new multidisciplinary paradigm. **IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics-Part A: Systems and humans**, v. 35, n. 1, p. 1–6, 2005.

ROMERO, M.; POUSMAN, Z.; MATEAS, M. Alien presence in the home: the design of Tableau Machine. **Personal and Ubiquitous Computing**, v. 12, n. 5, p. 373–382, 2008.

SÁNCHEZ, D.; TENTORI, M.; FAVELA, J. Activity recognition for the smart hospital. **IEEE intelligent systems**, v. 23, n. 2, 2008.

VAN DER POEL, C. J. et al. **On ambient intelligence, needful things and process technologies**. Solid-State Circuits Conference, 2004. ESSCIRC 2004. Proceeding of the 30th European. **Anais...IEEE**, 2004

VAN DER STOK, P. **Dynamic and robust streaming in and between connected consumer-electronic devices**. [s.l.] Springer Science & Business Media, 2005. v. 3