Estudo e melhoria da aquisição de dados de acelerômetros MEMS para análise de vibração em sistemas embarcados de baixa potência

RESUMO EXPANDIDO - Disciplina de TCC0290009

Alisson Mateus Boeing

Estudante do Curso de Engenharia de Telecomunicações

Arliones Stevert Hoeller Junior

Professor orientador

Romano Sabetzki Weirich

Co-orientador

Semestre 2021.2

Resumo- *A chegada da indústria 4.0 e seus recursos, trouxe diversos benefícios para as fábricas no que diz respeito a disponibilidade de ativos e automatização de tarefas. Grande parte proporcionada pelo avanço tecnológico que se iniciou na terceira revolução industrial, onde sistemas eletrônicos, computacionais e automatizados foram inseridos nos processos de produção. Dentre os tipos de manutenção, na indústria 4.0, se destaca a preditiva, que busca monitorar e detectar problemas em estágios iniciais, para que seja possível realizar a manutenção antes da quebra da máquina, evitando paradas indesejáveis. Amparada pelo conceito de internet das coisas, a manutenção preditiva, que ocorria por meio de técnicos visitando fisicamente os ambientes para monitoramento, agora recebe o auxílio de sistemas embarcados, que possibilitam coletar e transmitir dados automaticamente. A partir deste contexto, a empresa Dynamox S.A., situada em Florianópolis - Santa Catarina, especializada em manutenção preditiva através da análise de vibração voltada a indústria 4.0, identificou uma demanda de melhoria em um de seus produtos, sendo esse um sensor de temperatura e vibração, sem fio e com conectividade Bluetooth. Existe uma ciência que relaciona as características vibratórias e de temperatura de uma máquina rotativa com sua condição de operação e, apesar dos sensores da Dynamox produzirem dados capazes de verificar diversos problemas, algumas limitações no fluxo de aquisição impedem de detectar casos específicos. Estas limitações estão relacionadas a frequência de amostragem, resolução dos dados de vibração e, a simultaneidade da leitura dos eixos. Com isso, o objetivo deste trabalho é identificar as limitações e realizar melhorias no Software embarcado*

do sensor, com intuito de viabilizar a detecção de problemas que ocorrem em frequências mais elevadas, com o mesmo Hardware e mantendo um padrão de consumo compatível com o do produto atual.

Palavras-chave: Sistemas embarcados. Indústria 4.0. Baixo consumo. Análise de vibração. Manutenção preditiva.

1 Introdução

Com o passar dos anos, a indústria vem evoluindo em complexidade tecnológica e nas formas de manter a confiabilidade e produtividade dos ativos industriais. A eminente quarta revolução industrial, conhecida como Indústria 4.0, promove uma evolução da manutenção, que passa a ter uma função estratégica dentro de uma empresa (BALDISSARELLI; FABRO, 2019).

A manutenção industrial é definida pela combinação de atividades técnicas, operacionais e administrativas, que tem o objetivo de garantir um melhor desempenho da produção através da confiabilidade e disponibilidade de ativos industriais (JÚNIOR, 2014). Ela define metas e objetivos por meio de normas e procedimentos de trabalho e procura obter um melhor aproveitamento de pessoal, máquinas e materiais em uma organização (FILHO, 2008 apud JÚNIOR, 2014). Por exemplo, na indústria petroquímica cerca de 60% da força de trabalho é destinada à manutenção (GROOTE, 1995 apud SIMÕES, 2011) e um estudo na Suécia aponta que custos de manutenção em uma mineradora altamente mecanizada podem atingir a faixa entre 40% e 60% dos custos de operação (PARIDA; KUMAR, 2006 apud SIMÕES, 2011). Com base nesses dados, observa-se a importância da manutenção industrial na vida útil das máquinas.

Segundo Almeida (2018) existem cinco tipos de manutenção industrial, que atendem necessidades diferentes, são elas: corretiva, preventiva, produtiva total, centrada na confiabilidade e preditiva. A corretiva é a que age imediatamente para reestabelecer o funcionamento de uma máquina, o mais rápido possível, após uma quebra ocorrer. A preventiva, ocorre em datas predeterminadas e planejadas de forma controlada. Peças são trocadas e procedimentos de conservação são realizados para evitar paradas forçadas ou não planejadas. Já a produtiva total atua na melhoria e no aproveitamento da mão de obra dos operadores das máquinas. A centrada em confiabilidade, se baseia em sistemáticas administrativas focadas em eliminar causas conhecidas de defeitos recorrentes. E por fim, a preditiva monitora e avalia as reais condições de funcionamento de uma máquina, oferecendo um melhor aproveitamento e planejamento das paradas para manutenção.

A chegada da indústria 4.0 traz diversos benefícios para a manutenção preditiva através de seus recursos, são alguns deles: Internet das Coisas IoT, *Machine Learning* e *Big Data*. Segundo Mattern e Floerkemeier (2010) internet das coisas é uma visão de conectividade em que a internet passa a abranger diversos objetos além de computadores, isso se relaciona diretamente com o conceito de *Big Data*, uma expressão relacionada a uma quantidade muito maior de dados gerados pelos equipamentos IoT conectados à rede. Essa riqueza de dados possibilita a alimentação de sistemas de *Machine Learning*.

Sendo a preditiva o tipo de manutenção que monitora o funcionamento das máquinas, esses conceitos possibilitam a inclusão de tecnologias mais avançadas para acompanhar o estado dos ativos, um exemplo disso seira o sensoriamento remoto através de sensores sem fio e uma produção de dados elevada, sem a necessidade de recursos humanos no local. Com esse volume de dados, especialistas podem prever situações com uma antecedência satisfatória e evitar qualquer pausa não programada.

Alguns parâmetros monitorados pela manutenção preditiva, de acordo com Antoniolli et al. (1999), são: Temperatura, ruído, pressão, óleos lubrificantes e, por fim, vibração, também considerado o parâmetro mais utilizado para verificar as condições reais dos equipamentos segundo o autor.

O fenômeno de vibração se encontra em todos os lugares. Segundo Silva (2006), é a manifestação de um comportamento oscilatório em um sistema mecânico, resultante de uma troca repetitiva de energias cinéticas e potenciais. A análise de vibração pode ser realizada tanto no domínio do tempo quanto no domínio da frequência. No primeiro caso, a variável independente de um sinal de vibração é o tempo, e o sistema pode ser modelado através de equações diferenciais. No segundo caso, a frequência é a variável independente e a modelagem do sistema pode ser feita por funções de transferência de entrada e saída, em um modelo algébrico ao invés de diferencial. Os dois domínios se relacionam através da transformada de Fourier (SILVA, 2006).

Com base no contexto exposto e, a partir de uma demanda identificada pela empresa Dynamox S.A., este trabalho propõe um estudo e a implementação de melhorias no processo de aquisição e armazenamento de dados de aceleração dos seus sensores comercializados.

A Dynamox é uma empresa de alta tecnologia situada em Florianópolis – Santa Catarina, que desenvolve sistemas de monitoramento e aquisição de dados de vibração e temperatura, é especializada em manutenção preditiva realizada através de analise de vibração de ativos industriais. Sua solução envolve sensores sem fio com comunicação *Bluetooth*, chamados de *DynaLoggers*, dispositivos de coleta automatizada e disponibilização via internet através de diversas interfaces, chamados *DynaGateways* e uma plataforma *Web* onde o histórico dos dados é armazenado e disponibilizado para análise, interpretação e prognóstico de falhas. Por fim, está incluso na solução um aplicativo para dispositivos móveis capaz de configurar e coletar os dados dos sensores manualmente.

Os *DynaLoggers* produzem dados que permitem a detecção de diversos tipos de problemas. São alguns deles: desalinhamento, desbalanceamento, folga e cavitação de eixos e rotores e, defeitos em espiras de estatores de motores elétricos. Entretanto, limitações na taxa de amostragem, resolução das leituras e não-simultaneidade na aquisição de diferentes eixos em determinadas situações no processo de aquisição de dados dos *DynaLoggers* impedem alguns casos específicos de serem verificados, como o monitoramento de frequência de engrenamento em redutores, deficiência de lubrificação e falhas de rolamento em estágios iniciais, monitoramento de órbitas e, análise de fase.

Com isso, este trabalho tem a finalidade de aumentar a frequência de amostragem para que problemas em frequências mais elevadas possam ser detectados, nos três eixos simultaneamente. Além disso, busca-se melhorar a relação sinal ruído do sinal coletado

através de um incremento da resolução dos valores amostrados.

2 Objetivos

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar o fluxo de leitura e armazenamento de dados de aceleração dos sensores e, então, desenvolver e avaliar melhorias nesse processo, para que seja possível, mantendo um consumo de energia compatível com o dos produtos atuais, extrair o máximo dos recursos ofertados pelos acelerômetros.

2.2 Objetivos específicos

Através do objetivo geral, foram definidos alguns objetivos específicos.

- Identificar as limitações dos sensores da Dynamox.
- Permitir o monitoramento de frequências de engrenamento em redutores, deficiência de lubrificação e falhas de rolamentos em estágios iniciais.
- Viabilizar o monitoramento de órbitas e análise de fase através da leitura triaxial simultânea.

3 Metodologia

Nesta seção será apresentada a metodologia deste trabalho, considerando um *DynaLogger* composto por um *Display* de LEDs que executa a função de indicação de funcionamento e de alerta, um banco de sensores para monitoramento de temperatura e vibração, um módulo BLE para comunicação e um processador que rege o funcionamento do sistema.

3.1 Avaliação do cenário atual

A primeira etapa da metodologia abordada, consiste na instrumentação da comunicação entre processador e acelerômetro e a caracterização da duração de cada etapa do fluxo adotado.

3.2 Analise de viabilidade com o hardware atual

Nesta etapa será levantado todas as operações que fazem parte do fluxo de aquisição de dados e com base nas informações dos *datasheets* dos componentes envolvidos será construído uma linha do tempo considerando as durações teóricas e possibilidades de paralelismo entre as operações identificadas.

3.3 Comparação fluxo ideal x fluxo real

Através das informações da etapa anterior, nesta será realizada a comparação da linha do tempo ideal teórica com a real e então será possível identificar as principais oportunidades de melhoria.

3.4 Desenvolvimento de melhorias

Com base na comparação executada, serão implementadas melhorias nos pontos levantados.

3.5 Testes de desempenho e qualidade dos dados

Nesta etapa propõe-se a execução de dois cenários de testes diferentes: um para garantia da sanidade do processo de aquisição, e um para caracterização da coerência dos dados produzidos. O primeiro caso é composto por testes com o sensor em repouso com a gravidade e posteriormente sobre um calibrador de vibração com amplitude e frequência conhecidas. No segundo caso, uma ferramenta de análise de vibração da Dynamox será utilizada, ela é composta por um acelerômetro robusto, como referência para comparar o desempenho da aquisição do *DynaLogger*, um *Shaker* com vibração controlável, onde será alocado os dois sensores, e um *Script* que gerencia os componentes, executa os procedimentos e disponibiliza os resultados em forma de relatório para que possa ser analisado.

A última etapa prevista é a medição do consumo energético do sensor após as alterações feitas e realizar a comparação com o perfil atual.

4 Resultados esperados

Ao final deste trabalho, espera-se que seja possível amostrar simultaneamente os sinais de vibração dos três eixos do acelerômetro com as maiores frequências e resoluções disponibilizadas, e armazená-las na memória não volátil do microcontrolador. Com coerência em relação a gravidade quando em repouso e coerente com os dados do acelerômetro de referência quando monitorando um sinal. Espera-se que haja um aumento no consumo de corrente durante a leitura de frequências mais altas, porém, um consumo total menor, devido a leitura simultânea nos três eixos.

Com isso, será possível detectar problemas que atualmente não há cobertura, como por exemplo: o monitoramento de frequência de engrenamento em redutores, deficiência de lubrificação e falhas de rolamento em estágios iniciais, monitoramento de órbitas e análise de fase.

Referências

ALMEIDA, P. S. D. *Manutenção Mecânica Industrial–Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada*. [S.l.]: Saraiva Educação SA, 2018.

ANTONIOLLI, E. B. et al. Estudo comparativo de técnicas de medição e análise de vibrações para a manutenção preditiva em mancais de rolamentos. Florianópolis, SC, 1999.

BALDISSARELLI, L.; FABRO, E. Manutenção preditiva na indústria 4.0. *Scientia cum industria*, v. 7, n. 2, p. 12–22, 2019.

FILHO, G. B. *A Organização, o planejamento eo controle da manutenção*. [S.l.]: Ciência Moderna, 2008.

GROOTE, P. D. Maintenance performance analysis: a practical approach. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, MCB UP Ltd, 1995.

JÚNIOR, V. S. Implantação de um sistema de gestão para manutenção industrial. 2014.

MATTERN, F.; FLOERKEMEIER, C. From the internet of computers to the internet of things. In: *From active data management to event-based systems and more*. [S.l.]: Springer, 2010. p. 242–259.

PARIDA, A.; KUMAR, U. Maintenance performance measurement (mpm): issues and challenges. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Emerald Group Publishing Limited, 2006.

SILVA, C. W. D. *Vibration: fundamentals and practice*. [S.l.]: CRC press, 2006.

SIMÕES, J. A. M. *Indicadores de performance em manutenção industrial: utilização, valor e disponibilidade de informação*. Tese (Doutorado) — FEUC, 2011.