

Técnicas de Filtragem para Persistência de Dados de Redes de Sensores Ópticos FBG

A. D. F. Santos, M. J. Sousa, C. S. Sales, M. F. M. Silva, C. S. Fernandes e J. C. W. A. Costa

Universidade Federal do Pará, Laboratório de Eletromagnetismo Aplicado, Brasil

adam.santos@itec.ufpa.br moises.silva@icen.ufpa.br

{marcojsousa, cssj, cindystella, jweyl}@ufpa.br

Resumo. Sensores ópticos FBG ocupam um papel de destaque no monitoramento estrutural devido as suas características únicas. Taxas de aquisição cada vez mais elevadas têm sido possíveis utilizando interrogadores ópticos mais recentes, o que dá origem a um grande volume de dados cuja manipulação e armazenamento tornam-se dispendiosos em termos de processamento e também em termos de espaço de armazenamento em disco. Este artigo propõe duas técnicas de filtragem para reduzir a quantidade de registros no banco de dados ao mesmo tempo em que garante a integridade e a utilidade das informações armazenadas. As técnicas de filtragem propostas foram incorporadas como funcionalidades no sistema de aquisição e persistência e testadas em uma rede de sensores ópticos FBG composta de dois sensores de temperatura e dois sensores de aceleração, implantados para monitorar uma passarela de pedestres de metal com aproximadamente 40 metros de comprimento, situada no campus da UFPA (Belém, Pará). Será mostrado que as técnicas de filtragem propostas oferecem um grande impacto na redução do volume de dados necessários para o monitoramento da passarela.

Categorias e Descritores de Assunto: H.2 [**Database Management**]: Miscellaneous

Palavras-chave: Monitoramento estrutural, Redes de sensores ópticos FBG, Técnicas de filtragem

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia para monitoramento estrutural utilizando sensores ópticos FBG (*Fiber Bragg Gratings*) já é considerada madura [Yang 2010]. A vantagem desta tecnologia deriva do fato dos sensores serem criados diretamente na fibra óptica e não precisarem de alimentação de energia. Devido às características favoráveis da fibra óptica como canal de comunicação, os sensores podem ser colocados distantes da infraestrutura de aquisição e processamento de dados. As fibras, assim como os sensores, são bastante duráveis e inertes, podendo ser imersos dentro do concreto da construção ou nos compósitos plásticos que constituem desde asas de avião até pás de aerogeradores eólicos [Tosi et al. 2009].

O monitoramento estrutural é suportado por dados obtidos em tempo real relacionados com a resposta da estrutura, fornecendo indicadores sobre eventuais danos na estrutura que podem condicionar a sua integridade e desempenho. Pode ser registrado um grupo variado de parâmetros, incluindo mudanças de propriedades físicas, químicas ou elétricas, corrosão e fadiga. Estes parâmetros estão relacionados com propriedades físicas da estrutura, tais como deformação, temperatura ou aceleração [Antunes et al. 2010]. Estes dados são obtidos através de interrogadores ópticos com altas taxas de aquisição, que basicamente monitoram os deslocamentos de comprimento de onda dos sensores e disponibilizam essa informação geralmente por intermédio de uma interface de rede Ethernet. Contudo, um grande volume de dados é gerado cuja manipulação e o armazenamento em banco de dados tornam-se tarefas dispendiosas em termos de processamento e espaço de armazenamento em disco.

Com o grande volume de dados gerados do monitoramento estrutural se torna de fundamental importância a filtragem desses dados de maneira a evitar uma sobrecarga de processamento no sistema de aquisição, assim como uma sobrecarga de dados que devem ser persistidos no banco de dados. As tarefas de aquisição, filtragem e persistência podem ser centralizadas em um sistema de *software* que possa gerenciar este processamento por completo e interagir com o banco de dados em tempo real.

Pelo conhecimento dos autores não existem aplicações similares a abordada neste artigo, mas dois artigos estão relacionados por tratarem de modelos de armazenamento de dados. Em [Costa and Cugnasca 2010] é mostrado o uso de *datawarehouse* para gerenciamento de dados obtidos de sensores sem fio no monitoramento do *habitat* de abelhas. O artigo propõe um modelo para extrair, transformar e normalizar dados de redes de sensores e carregá-los em um *datawarehouse*, de forma que possam ser facilmente analisados por especialistas para auxiliar no processo de tomada de decisão. No entanto, esse artigo não mostra nenhuma técnica de filtragem de dados gerados pelos sensores, que podem ser em grande volume e prejudicar o processo de obtenção de informação. Parte-se do pressuposto que os dados das bases a serem integradas já estão consolidados, mas na prática o tratamento de volumes elevados de dados acaba sendo a parte mais onerosa do sistema. Em [Gonçalves et al. 2012] é proposto um modelo dinâmico que considera as vantagens de diferentes modelos de armazenamento, como o modelo local, externo e *data-centric*. A estratégia é baseada em três passos, sendo que o último passo é o condicionamento na frequência de transmissão de mensagens de dados a serem armazenados baseado em limiares. O gerenciamento de transmissão de mensagens de dados é crítico em sensores sem fio, pois tem alto impacto no consumo de energia global. Assim, o artigo avalia diferentes limiares para determinar a frequência na qual um sensor atualiza suas leituras no repositório. Apesar deste último passo ser semelhante à abordagem proposta aqui, o interesse é a economia de energia e não há preocupação com a geração de dados excessivos, que podem sobrecarregar os repositórios de dados. Em uma rede de sensores sem fio com muitos nós sensores medindo diferentes grandezas, assim como em uma rede de sensores ópticos usando multiplexação, o potencial de geração de um grande volume de dados que pode se tornar intratável do ponto de vista computacional é bastante plausível.

Com objetivo de reduzir de forma significativa a quantidade de registros que devem ser armazenados em um banco de dados, todavia garantindo a utilidade das informações armazenadas, este trabalho apresenta duas técnicas de filtragem de dados aplicadas nas amostras geradas pelos sensores FBG que monitoram uma passarela de pedestres. O sistema InterAB (*Interrogator Abstraction*) é o *software* que realiza a aquisição de dados enviados pelo interrogador, aplica as técnicas de filtragem e realiza a persistência em banco de dados das amostras filtradas. A técnica de filtragem por variação no comprimento de onda é proposta para dados de sensores FBG de temperatura e a técnica de filtragem por atividade é sugerida para dados de sensores FBG aceleração.

O artigo está organizado como segue: na Seção 2 é apresentado o funcionamento do sistema InterAB, na Seção 3 são apresentadas e discutidas as técnicas de filtragem de dados propostas, na Seção 4 são mostrados os resultados de cada técnica em um cenário real de aplicação e as considerações finais e os trabalhos futuros são apresentados na Seção 5.

2. AQUISIÇÃO, FILTRAGEM E PERSISTÊNCIA: SISTEMA INTERAB

O sensoriamento óptico está relacionado ao monitoramento de deslocamentos do comprimento de onda de Bragg com as mudanças no mensurando (e.g., temperatura, deformação, aceleração) devido à variação periódica do índice de refração do núcleo da fibra óptica [Yang 2010]. Os interrogadores são as unidades leitoras de medidas que extraem informação medida a partir dos sinais de luz provenientes das cabeças sensoras [Tosi et al. 2009]. Portanto, os interrogadores são destinados a medir os deslocamentos de comprimento de onda de Bragg e converter estes resultados para dados medidos que são disponibilizados para *softwares* clientes que estabeleçam comunicação com interrogador de acordo com seu protocolo. O sistema InterAB é uma aplicação baseada na plataforma Java responsável por esta comunicação, além de possuir outras funcionalidades.

O funcionamento do sistema InterAB é apresentado de forma simplificada na Figura 1. O sistema interage através de *socket* TCP/IP com o interrogador óptico, que está coletando as amostras geradas pela rede de sensores, com o objetivo de receber os dados do monitoramento em tempo real. As amostras são desvios de comprimentos de onda que indicam mudanças na grandeza medida pelo sensor. O InterAB então processa os dados que são transmitidos pelo interrogador em um formato

SCPI (*Standard Commands for Programmable Instruments*) e aplica a técnica de filtragem adequada dependendo do tipo de grandeza medida pelo sensor. Após a etapa de filtragem de dados, o sistema comunica-se com a base de dados por intermédio de conexão JDBC (*Java Database Connectivity*) para persistir as amostras filtradas de cada sensor.

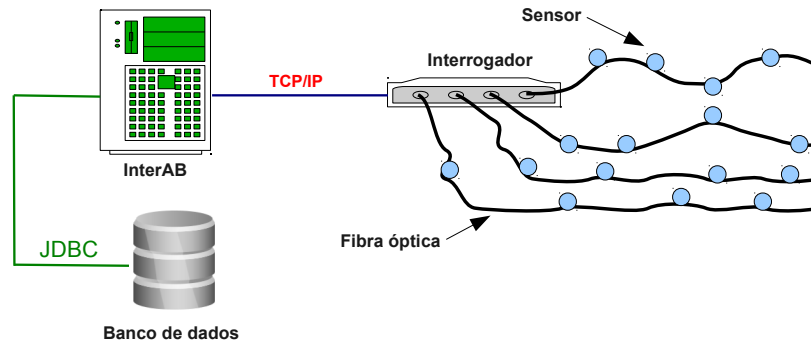


Fig. 1. Funcionamento do sistema InterAB.

3. TÉCNICAS DE FILTRAGEM

As técnicas de filtragem de dados têm por objetivo diminuir a quantidade de dados, provenientes do monitoramento estrutural com redes de sensores FBG, que deve ser armazenada em um banco de dados. Estas técnicas baseiam-se em critérios que proporcionam a redução de registros persistidos sem a perda de qualidade da informação, ou seja, com um número menor de amostras armazenadas ainda é possível identificar o comportamento da grandeza que está sendo medida pelo sensor dentro de uma faixa aceitável de erro.

Considerando um interrogador óptico com taxa de amostragem de 100 S/s^1 com apenas um sensor óptico, a Tabela I apresenta o crescimento da quantidade de registros armazenados no banco de dados caso todas as amostras do sensor tivessem que ser persistidas durante o tempo de monitoramento de uma determinada estrutura. A quantidade de dados pode sobrecarregar o armazenamento na base de dados. Por outro lado, as técnicas de filtragem tem por objetivo reduzir de forma considerável as amostras geradas pelos sensores que serão persistidas.

Tabela I. Crescimento linear da quantidade de registros no banco de dados

Tempo	1 hora	12 horas	1 dia	1 semana	1 mês	1 ano
Quantidade de dados	360.000	4.320.000	8.640.000	60.480.000	264.000.000	3.140.000.000

3.1 Filtragem por variação no comprimento de onda

A filtragem por variação no comprimento de onda é apropriada para grandezas de variação lenta, particularmente, a temperatura. Em se tratando de monitoramento estrutural, a temperatura geralmente não apresenta mudanças significativas em um curto espaço de tempo, salvo em casos de eventos danosos à estrutura. Portanto, na grande maioria das vezes não se faz necessário armazenar um grande volume de dados de medições que não representa variações interessantes de temperatura.

¹S/s: amostras por segundo

O processo é realizado comparando-se a última amostra s_i coletada com a última amostra que de fato foi inserida no banco de dados s_j . Se $|s_i - s_j| > \Delta T$, então s_i é inserida no banco de dados e substituí o valor de s_j . O parâmetro ΔT define a precisão do sistema e a intensidade da filtragem. Quando maior ΔT menos amostras serão inseridas no banco de dados. Para sensores de temperatura ópticos baseados em FBG, a precisão em graus Celsius é da ordem de 0,1 graus, portanto este constitui um valor mínimo para ΔT .

3.2 Filtragem por atividade

Os sensores FBG de aceleração apresentam rápidas variações em seu comprimento de onda de Bragg. Logo, é requerida uma taxa de amostragem adequada por parte do interrogador com o objetivo de possibilitar verificações de variações desta grandeza. Diferentemente da filtragem por variação no comprimento de onda, neste caso não há redundância nas medidas e todas as amostras são importantes.

Considere o caso do monitoramento de uma ponte ferroviária. Normalmente as medidas de aceleração são desprezíveis a menos que um trem venha a atravessar a ponte. Fora esta eventualidade, apenas fenômenos naturais pouco comuns tem a capacidade de despertar algum interesse em termos estruturais. O evento da passagem do trem representaria poucos minutos e não seria eficiente registrar sistematicamente cada segundo ao longo de 24 horas e sim monitorar a ponte apenas durante o evento, quando os dados precisarão ser coletados continuamente usando a taxa de amostragem nominal dos acelerômetros sem perdas de amostras. Portanto, um elemento essencial desta técnica é a identificação de um evento relevante ou de atividade. Este trabalho propõe o uso da diferença absoluta entre a aceleração registrada pela última amostra e a média de n últimas amostras:

$$\Delta s_i = \left| s_i - \sum_{k=i-n}^{i-1} s_k \right| \quad (1)$$

onde Δs_i representa a diferença absoluta e s_i representa a última amostra coletada pelo interrogador. O subscrito indica a ordem de coleta da amostra, quanto mais recente, maior o subscrito.

Uma vez que pelo menos n_d dentre n_s amostras consecutivas satisfaça $\Delta s_i > s_d$, onde s_d representa um valor de “disparo”, então n_0 amostras anteriores e pelo menos n_1 amostras posteriores serão adicionadas no banco de dados. Caso a condição de disparo seja novamente identificada dentre as n_1 amostras posteriores, então mais n_1 amostras a partir do ponto de identificação serão adicionadas. Este processo garante que enquanto houver suficientes ocorrências da condição $\Delta s_i > s_d$, as amostras subsequentes serão apropriadamente adicionadas no banco de dados até que os eventos parem de ocorrer e o sistema monitorado volte para um estado de repouso.

4. RESULTADOS

4.1 Cenário de testes

As técnicas de filtragem propostas foram testadas em um cenário caracterizado por uma passarela de pedestres de metal com aproximadamente 40 metros de comprimento, situada no campus da UFPA (Belém, Pará). O monitoramento desta estrutura é realizado através de uma rede de sensores ópticos FBG composta de dois sensores de temperatura e dois sensores de aceleração, e de um interrogador óptico industrial *BraggMeter* com taxa de amostragem de 100 S/s. A passarela, exemplos de sensores instalados e o esquema de monitoramento da estrutura são mostrados na Figura 2. Um cabo óptico de aproximadamente 500 metros conecta a rede de sensores instalada na passarela com o interrogador localizado em um laboratório para medições.



Fig. 2. Cenário de testes: passarela de pedestre da UFPA.

Como forma de testar as técnicas propostas foram realizadas coletas durante 27 horas, buscando filtrar as amostras que representassem variações de aproximadamente 1°C e 2°C . Um comparativo entre o sinal original e os sinais filtrados com variação de 1°C e 2°C é mostrado na Figura 3. O sinal original possui 10148765 amostras, o sinal filtrado para variações de 1°C possui 47 amostras e o sinal filtrado para variações de 2°C possui 11 amostras, o que implica em uma redução de registros na base de dados de aproximadamente 99,9995% e 99,9998%, respectivamente. Contudo, é possível verificar uma grande redução no número de registros que foram persistidos no banco de dados após a filtragem sem ao mesmo tempo perder a qualidade da informação, pois através das amostras armazenadas é possível observar o comportamento da temperatura na passarela e estimar de forma aproximada o sinal original. Entretanto, é importante destacar que a redução na quantidade de registros é aceitável até certo ponto, em outras palavras, quanto menor o número de registro no banco de dados menor é a possibilidade de precisão na identificação do comportamento da grandeza medida pelo sensor.

Um comparativo entre o sinal filtrado com o sinal completo para um acelerômetro uniaxial no eixo z (normal ao piso da passarela) é apresentado na Figura 4. Foram utilizados os seguintes parâmetros: $n = 100$, $s_d = 0,05 g$, $n_s = 100$, $n_d = 5$, $n_0 = 1000$ e $n_1 = 2000$. As amostras registradas no banco de dados são aquelas que formam a curva preta e as amostras em cinza não foram registradas. Observa-se que as amostras registradas estão agrupadas em torno de pontos de atividade com picos que superam $0,1 g$. O mérito desta técnica de filtragem aplicada a acelerômetros é que ela permite ignorar eventuais pontos fora da curva originados por erros de sincronismo da unidade de interrogação devido ao ruído. O valor n_d exige que pelo menos 5 eventos ocorram dentro de um certo intervalo de tempo e dessa forma um evento autêntico pode ser distinguido de um breve ruído.

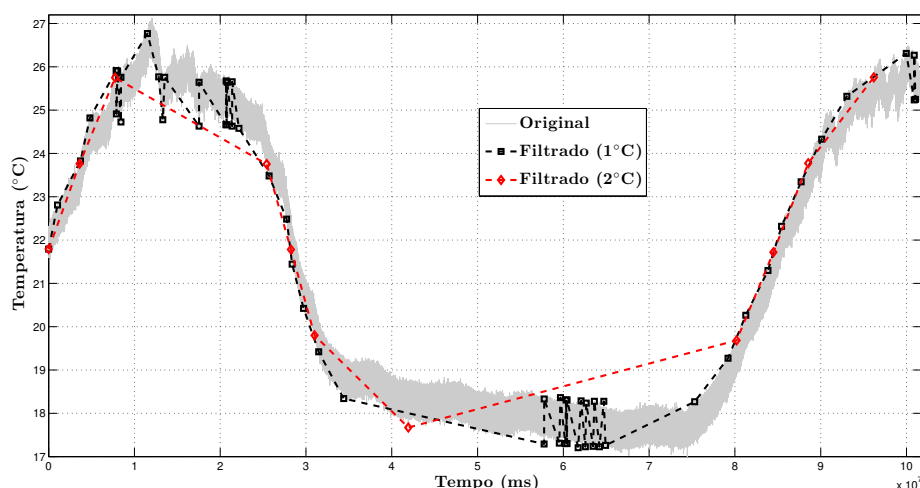


Fig. 3. Filtragem de variações de 1°C e de 2°C .

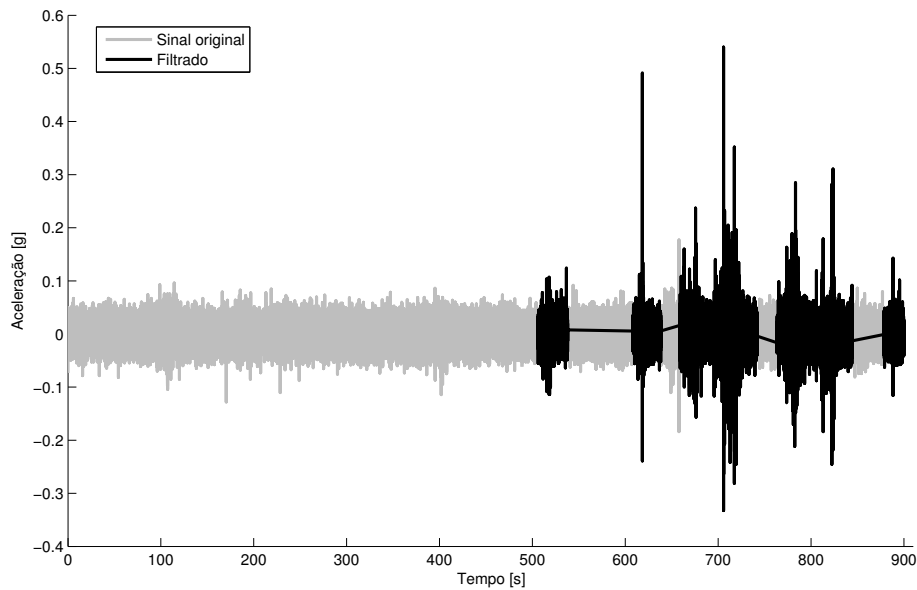


Fig. 4. Filtragem de dados de sensores FBG de aceleração.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Neste artigo foram apresentadas duas técnicas de filtragem de dados propostas para redes de sensores ópticos FBG, particularmente sensores de temperatura e aceleração. As técnicas, que foram incorporadas no sistema InterAB, tiveram como objetivo a redução de forma considerável de registros persistidos no banco de dados, mas sem alterar de forma significativa a qualidade da informação processada. Os resultados de aplicações das técnicas de filtragem por comprimento de onda e por atividade no cenário real de uma passarela de pedestre mostraram as vantagens da utilização de uma etapa de filtragem de dados antes do armazenamento, reduzindo a quantidade de registros em mais de 90% do volume original. Para os próximos passos pretende-se desenvolver novas técnicas baseadas em outros critérios de filtragem, estender a técnica de filtragem por atividade para sensores ópticos FBG de deformação mecânica e ampliar a abordagem proposta neste trabalho para outros tipos de redes de sensores.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, P., LIMA, H., VARUM, H., AND ANDRE, P. Static and dynamic structural monitoring based on optical fiber sensors. In *12th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*. pp. 1–4, 2010.
- COSTA, R. A. AND CUGNASCA, C. E. Use of Data Warehouse to Manage Data from Wireless Sensors Networks That Monitor Pollinators. In *Eleventh International Conference on Mobile Data Management (MDM)*. pp. 402–406, 2010.
- GONÇALVES, N. M. F., DOS SANTOS, A. L., AND HARA, C. S. DYSTO - A Dynamic Storage Model for Wireless Sensor Networks. *Journal of Information and Data Management* 3 (3): 147–162, 2012.
- TOSI, D., OLIVERO, M., PERRONE, G., VALLAN, A., AND ARCUDI, L. Simple fiber Bragg grating sensing systems for structural health monitoring. In *IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS)*. pp. 80–86, 2009.
- YANG, N. Technologies for structural test and monitoring: The modern approach. In *IEEE AUTOTESTCON*. pp. 1–5, 2010.