



Estudo de otimização de rede de sensores

Thiago Tonon¹ – thiago.tonon@ifpr.edu.br
Edno Gentilho Junior¹ – edno.junior@ifpr.edu.br
Cid Marcos Gonçalves Andrade² – cmgandrade@uem.br

1 – Instituto Federal do Paraná – IFPR Paranavaí

2 – Universidade Estadual de Maringá

Resumo: Este trabalho apresenta o estudo de otimização de redes de sensores. Quando se desenvolve projetos de controle e automação de processos industriais, é comum a instalação de grande número de sensores. O conjunto destes sensores são chamados rede de sensores. Entretanto, estudos apontam a possibilidade de desenvolver metodologias de minimizar o número de sensores instalados, visando a diminuição dos custos de implantação e manutenção e trazendo o mesmo grau de confiabilidade dos dados de operação. Assim, um estudo buscando a otimização da rede de sensor foi desenvolvido. O resultado foi alcançado utilizando uma ferramenta computacional que foi capaz de simular uma rede de sensor e mostrar que é possível diminuir o número de sensores da rede, alcançando o objetivo de otimização de custos de instalação e manutenção da rede.

Palavras-chave: Rede de Sensores; Otimização de Rede de Sensores; IBM ILOG CPLEX. .

corretiva para o seu perfeito funcionamento.

Diante disso, é possível perceber que, com um grande número de sensores instalados em qualquer equipamento, o custo de manutenção deve ser levado em consideração para a busca pela otimização do custo de produção.

Otimizar qualquer processo significa buscar os extremos, ou seja, utilizar recursos matemáticos para estabelecer valores máximos ou mínimos para de alguma grandeza que esteja sendo utilizada. Assim, o estudo de uma rede ótima de sensores de um processo produtivo, utilizando o estudo de otimização, pode ser realizado para alcançar o objetivo de encontrar o número de sensores, sem deixar de lado a qualidade do processo produtivo.

1. Introdução

O custo de implementação e manutenção de qualquer equipamento em uma indústria é decisivo para a definição do preço de produção de qualquer produto. Esta condição permite que uma indústria possa ser ou não competitiva no mercado. Buscar meios de diminuir o custo de implementação de um processo industrial, sem afetar a qualidade do produto é fundamental para esta competitividade.

Quando um dispositivo industrial é desenvolvido, é comum a utilização de sensores eletrônicos para a obtenção de leituras de grandezas físicas, gerando assim dados de operação utilizados na computação de automação e controle dos processos.

O custo da implantação destes sensores dependem da faixa de operação das grandezas físicas que os sensores irão aferir. Geralmente, estes custos são inserido no valor final do equipamento. No entanto, todo equipamento eletromecânico requer manutenção preventiva e

2. Problema

O problema investigado neste trabalho busca a minimização do custo de implantação de sensores de um sistema de produção. A minimização do custo de instalação será realizada considerando a utilização de um estudo de otimização, que seja capaz de indicar quais os sensores que devem ser instalado no projeto, permitindo a obtenção completa das informações aliado ao menor custo de manutenção anual.

A função objetivo mais utilizada na modelagem deste tipo de problema é considerado a partir da soma do investimento de capital e o custo operacional anualizado. Em geral, quando se trata de sensores, é utilizado o custo anual de manutenção do sensor, considerando sua vida útil, tempo de manutenção, deslocamento de técnicos, entre outros custo.

A modelagem de uma rede de sensor em um problema e otimização pode ser descrito como (BAGAJEWICZ et al, 1999):

$$\left. \begin{array}{l} \text{Min } \sum_{i \in M_1} c_i q_i \\ \text{s. a.} \\ E_k(q) \geq E_k^* \quad \forall k \in M_E \\ q_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in M_1 \end{array} \right\}$$

sendo:

M_1 → conjunto onde os sensores podem ser instalados;

M_E → conjunto de variáveis cuja confiabilidade restringidas;

E_k → grau de estimativa da variável k ;

E_k^* → grau mínimo de estimativa da variável k ;

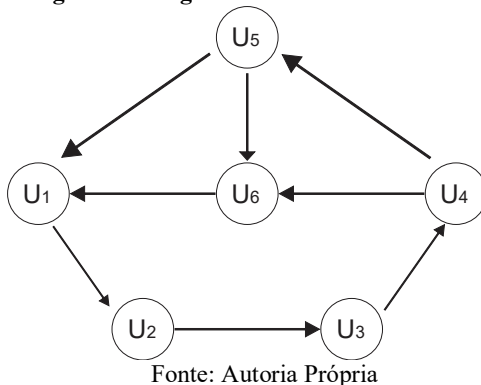
q_i → são variáveis binárias que determinam a condição do sensor;

c_i → conjunto que representam os custos dos sensores.

A análise da variável q_i determina a presença ou não do sensor. Neste caso, se a variável $q_i = 0$, significa que o n -ésimo sensor não está localizado e, se a variável $q_i = 1$, o significado é a presença do n -ésimo sensor.

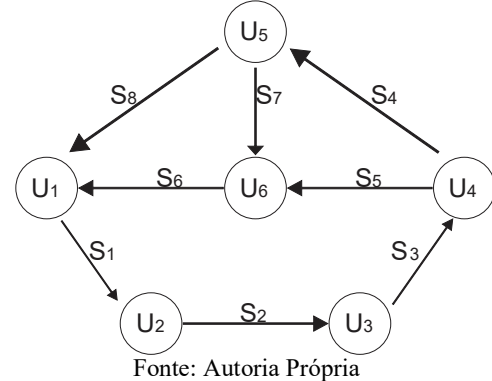
O problema proposto neste trabalho é um exemplo de aplicação contido em (BAGAJEWICZ, 2001). O processo de obtenção de determinado produto consiste em uma série de subprocessos U_n . Em cada subprocesso deste, há a necessidade de fazer a instalação de sensores de fluxo a fim da obtenção de dados para a viabilização de um projeto de controle. Atualmente, há dois sensores de fluxo instalados nos ramos S1 e S4. Entretanto, este número de sensores não atende aos requisitos mínimos de estimativa. O processo é ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Diagrama de fluxo do sistema



O processo inicia no nó U1, que está ligado ao nó 2 através do arco S1. Os subprocessos serão identificados por nó e a ligação entre estes processos são chamados de arcos. Esta configuração pode ser observada na Figura 2.

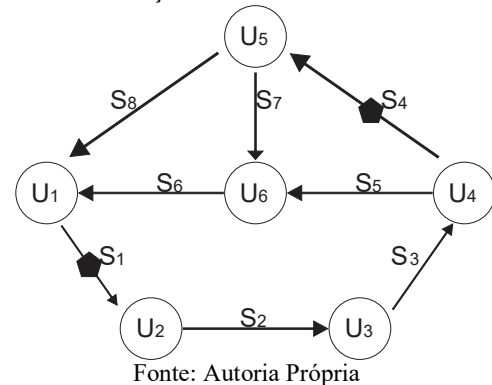
Figura 2 - Diagrama de fluxo do sistema



O sistema já possui dois sensores de fluxos instalados nos arcos S1 e S4. Entretanto, somente com estes dois sensores não é possível garantir um grau mínimo de estimativa no sistema. Estudos apontam a necessidade de incluir mais dois sensores, para garantir o funcionamento da rede. Como o custo da implantação dos sensores depende de vários fatores, como distância, por exemplo, a escolha pela instalação com o menor custo deve ser considerado.

A Figura 3 apresenta o esquema contento a identificação dos locais onde há a instalação dos atuais sensores.

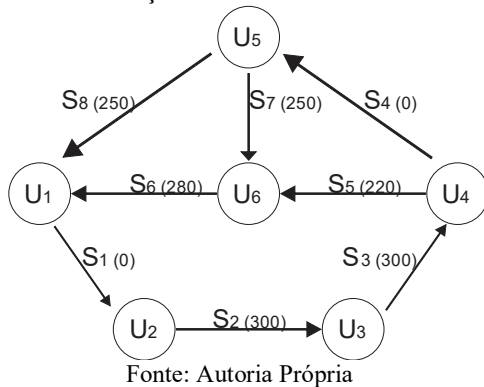
Figura 3 - Identificação dos atuais sensores do sistema



Foi realizado o estudo para a implantação dos sensores em todos os ramos. Porém, para atender o grau de mínimo de estimativa, somente dois sensores já serão suficiente. A Figura 4 apresenta o diagrama do sistema, com o custo de

em todos os arcos.

Figura 4 - Identificação dos atuais sensores do sistema



Os arcos S1 e S4 possuem o custo zero, pois já há a presença do sensor nestes locais, não havendo a necessidade de implantação.

(CHMIELEWSKI et al, 1999) provou que este problema pode ser reduzido a um problema MILP quando são utilizadas precisão de limitações, como é o caso.

Visando a realização do processo com o menor custo possível, o estudo de otimização dos locais de instalação dos sensores foi realizado utilizando o software de otimização IBM ILOG CPLEX Optimization Studio.

3. Software IBM ILOG CPLEX Optimization Studio

O software “IBM ILOG CPLEX Optimization Studio é um kit de ferramentas de suporte de decisão analítica que oferece rapidez no desenvolvimento e na implementação de modelos otimização”. A IBM disponibiliza uma versão gratuita do software para estudantes, professores e pesquisadores que deseja estudar e implantar soluções de otimização.

O problema apresentado neste trabalho contém a necessidade de otimizar uma rede de sensores. Para a solução do problema foi utilizado a solução do Cplex via Network Flows.

Um problema de fluxo de rede busca o custo mínimo de uma rede, que consiste em um conjunto de nós e um conjunto de arcos que conectam estes nós. Um arco a no conjunto A é um par ordenado (i, j) onde i e j são nós no conjunto N. Nem todos os pares de nós em um conjunto N são necessariamente conectados por arcos no conjunto A. Mais de um arco pode conectar um par

de nós.

Através da observação da Figura 4, é possível descrever um vetor de custos $c = [0 \ 300 \ 300 \ 0 \ 220 \ 280 \ 250 \ 250]$. Considerando que os sensores dos arcos S1 e S4 estão instalados, os valores são nulos no vetor. O limite inferior, que é o custo mínimo permitido através do arco, possui um valor padrão zero. O limite superior define o custo máximo permitido através do arco a. Por padrão, o limite superior em um arco é infinito positivo. Este limite pode ser considerado para limitar o valor máximo de investimento do sistema. Neste exemplo foi estipulado um valor hipotético superior a somatória total dos custos. Cada nó n está associado a um valor, ou seja, para cada nó, o fluxo líquido que entra e sai do nó deve ser igual ao seu valor de oferta, e todos os valores de fluxo devem estar dentro dos limites. A solução de um problema de fluxo de rede é uma atribuição de valores de fluxo para arcos (ou seja, as variáveis de modelagem) para satisfazer a formulação do problema. Um fluxo que satisfaça as restrições e os limites é factível.

A Figura 5 apresenta o arquivo de configuração desenvolvido no Cplex para a parametrização do software.

Figura 5 - Parametrização do software

```

NumNodes = 6;

SupDem = [-1, 0, 0, 1, 1, -1];

Arcs = {
  // from, to, cost, ub
  < 1, 2, 0, 5000 >,
  < 2, 3, 300, 5000 >,
  < 3, 4, 300, 5000 >,
  < 4, 5, 0, 5000 >,
  < 4, 6, 220, 5000 >,
  < 6, 1, 280, 5000 >,
  < 5, 6, 250, 5000 >,
  < 5, 1, 250, 5000 >
};

```

Fonte: Autoria Própria

A criação deste arquivo serve como um banco de dados de informações necessárias para a execução do código principal que resolve este problema.

Após executar o arquivo com estes parâmetros, o software encontrou um vetor de

solução que indica que o ótimo deste sistema será possibilitado instalando um sensor no arco S5 e um no arco S8. Esta configuração pode ser verificada através da Tabela 1 que mostra o vetor resultado do software.

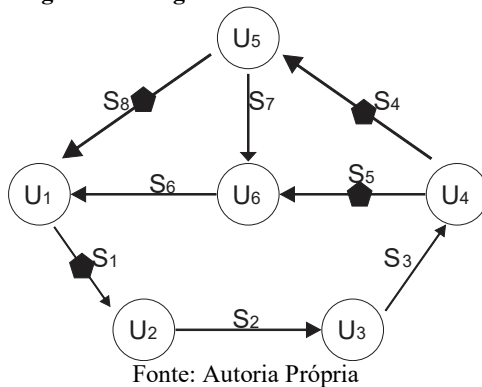
From node	To node	Value
1	2	0
2	3	0
3	4	0
4	5	0
4	6	1
6	1	0
5	6	0
5	1	1

Fonte: Autoria Própria

Dessa maneira, o software encontrou a solução que atende aos requisitos do projeto. Considerando que estes sensores possuíam um custo, respectivamente, de 220 e 250, o custo ótimo será de 470.

A Figura 6 apresenta o diagrama de como ficará a disposição dos sensores após o cálculo da otimização.

Figura 6 – Diagrama do sistema otimizado



Fonte: Autoria Própria

4. Conclusões

O estudo e implementação de técnicas matemáticas aliado aos recursos computacionais permitem a busca por técnicas de melhoria em muitas áreas, principalmente na otimização dos recursos financeiros. Este trabalho apresentou o estudo e implementação de otimização de uma rede de sensores, buscando o atendimento das especificações do projeto e a minimização dos recursos.

Técnicas como estas permitem a diminuição nos custos de produção dos produtos,

trazendo competitividade para as empresas.

Outros estudos buscando novos parâmetros poderão ser implementados a partir dos conhecimentos obtidos na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

BAGAJEWICZ M. AND SÁNCHEZ. **Design and Upgrade of Non-Redundant Linear Sensor Networks**. AICHE J., 45, 9, pp. 1927-1939 (1999).

BAGAJEWICZ M. **Process Plant Instrumentation: Design and Upgrade**. CRC (2000).

CHMIELEWSKI D., T.E. PALMER AND V. MANOUSIOUTHAKIS. **Cost Optimal Retrofit of Sensor Networks with Loss Estimations**. Accuary. AICHE Annual Meeting, Dallas (1999).

PORTAL IBM. Disponível em: <<http://www-03.ibm.com/software/products/pt/ibmilogcpleopti stud>> Acesso em: 01 de agosto de 2017.