

SISTEMA DE POSICIONAMENTO RFID INTEGRADO COM PNRD ESTENDIDA

Rodrigo Hiroshi Murofushi, MAPL, hiroshirhm@gmail.com

Bruno Luiz Pereira, MAPL, bruno_luiz@meca.ufu.br

Guilherme P. Silva, MAPL, guilpas@gmail.com

José Jean-Paul Zanlucchi de Souza Tavares, MAPL, jean.tavares@mecanica.ufu.br

Resumo. Este trabalho apresenta uma proposta de utilizar um sistema de posicionamento interno (IPS) integrado com uma rede de Petri inserida em base de dados RFID (PNRD) na sua forma estendida com o propósito de automatizar processos por meio da utilização de etiquetas eletrônicas (tags). A posição de uma tag é estimada pela potência do sinal de resposta emitida pela etiqueta. Um filtro de Kalman é utilizado para filtrar o sinal e a distância estimada é utilizada como pré-condição na rede de Petri que representa o processo no qual se deseja monitorar. A tag armazena a matriz de incidência da rede e o estado atual do item, enquanto o leitor possui a lista de vetores de disparo condicionada à tag, estado interno. Durante o processo de captura de dados a PNRD permite identificar e atualizar em tempo real o estado dos itens identificados por RFID, inclusive exceções. A PNRD estendida acrescentou à lista de componentes às condições do vetor de disparos, avaliando montagem e desmontagem de itens. Simulações utilizando o filtro de Kalman mostram que este é adequado para ser utilizado no cálculo da distância através da potência do sinal e que com esse parâmetro, informações relativos à distância podem ser monitorados e utilizados como condições do vetor de disparos da PNRD estendida.

Palavras chave: RFID, IPS, Filtro de Kalman, PNRD, PNRD Estendida

1. INTRODUÇÃO

RFID (*Radio Frequency Identification*) é a denominação genérica para sistemas compostos de dispositivos eletrônicos que permitem realizar identificações utilizando comunicação por RF (Rádio Frequência). Entre os elementos básicos que compõem este sistema estão o equipamento interrogador ou leitor (*reader*) e as etiquetas eletrônicas de identificação ou *tags* (Azambuja, 2011).

A identificação por radiofrequência também é capaz de ser utilizada como um sistema de posicionamento interno, conhecido como IPS (*Indoor Positioning System*). Este pode ser aplicado em depósitos, plantas industriais, hospitais e edifícios comerciais, onde sistemas de posicionamento global ou GPS normalmente não operam. A maioria dos sistemas de posicionamento interno baseia-se em tecnologias sem fio, ultrassônica e reconhecimento de imagens. Para que um sistema RFID seja utilizado como IPS é necessário estimar o ângulo de elevação da *tag* baseado na potência do sinal recebido (RSSI) e para tal é necessário utilizar um filtro de Kalman (Saab *et al.*, 2011).

Outra ferramenta importante no sistema são as Redes de Petri Elementares inseridas em base de dados RFID ou PNRD, uma estrutura de dados formal que separa os componentes da rede de Petri entre leitores RFID e *tags*. A etiqueta eletrônica armazena a matriz de incidência da rede e o estado atual do item, enquanto o leitor possui a lista de vetores de disparo condicionada à *tag*, estado interno. A PNRD permite identificar e atualizar, em tempo real, o estado dos itens identificados por RFID durante um processo de captura dos dados, podendo verificar se houve erros, desvios ou eventos inesperados durante a execução.

A PNRD é exclusiva de cada item e não representa processos de montagem e desmontagem, apenas processos produtivos em linha, portanto, para englobá-los a abordagem PNRD teve que ser estendida para receber uma lista de componentes do item.

2. OBJETIVOS

O trabalho visa desenvolver um sistema de posicionamento interno unidimensional capaz de adquirir os sinais das etiquetas eletrônicas, compará-los com valores de referência com a finalidade de estimar a distância dos objetos lidos e monitorar o processo seguindo a abordagem PNRD estendida.

3. METODOLOGIA

Para estimar a posição de uma determinada *tag*, é necessário obter o valor da potência do sinal recebido (RSSI), sendo este tratado utilizando um filtro de Kalman apresentado na subseção 3.1. Após o sinal ter sido filtrado, este é utilizado para estimar a posição na qual a *tag* está localizada, conforme o método apresentado na subseção 3.2. A posição estimada é utilizada como pré-condição na rede de Petri cujo assunto é abordado na subseção 3.3. Já a rede de Petri inserida em base de dados RFID ou PNRD, e a PNRD estendida é abordada na subseção 3.4. O item 3.5 apresenta a PNRD estendida integrada com sistema de posicionamento RFID.

3.1. Filtro de Kalman

O filtro de Kalman utiliza um método estocástico na filtragem de sinais e é baseado em quatro conceitos (Caetano, 2010).

Através das equações de propagação e atualização é possível obter um resultado menos sujeito a ruídos, que estão sempre presentes no ambiente devido à interferência de outros sistemas transmissores de sinais que trabalham em frequências próximas à banda de trabalho do sistema, que varia de 902 a 928 MHz.

3.1.1. Variável de Estado

Variável de estado representa o parâmetro de estudo do modelo matemático para a previsão de dados futuros, onde o valor de x na iteração posterior é o valor do mesmo na iteração atual com uma correção A e corrompido por ruído w_k , conforme a Eq. (1):

$$x_{k+1} = Ax_k + Cw_k \quad (1)$$

3.1.2. Variável Medida

Variável medida é aquela que simula a aquisição de dados de um sensor cujo valor obtido no tempo k é o valor da variável de estado x_k no tempo com uma correção H e com ruído v_k , de acordo com a Eq. (2):

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (2)$$

3.1.3. Propagação

Propagação é a simulação do que se espera de dados futuros baseados em k dados.

3.1.4. Atualização

Atualização é o processo de correção da previsão utilizando os novos dados coletados pelos sensores.

3.2 Simulação do Cálculo do Posicionamento

A Eq. (3) relaciona a potência RSSI recebida pela antena, $P_{rec}(r, \theta)$, com a potência para o ângulo de maior ganho, P_r e com a perda de potência L_D em função do ângulo de elevação θ .

$$P_{rec}(dBm) = P_r(dBm) + L_D(dBm) \quad (3)$$

Os dados da potência do sinal recebido pelo sistema de posicionamento são enviados continuamente para o filtro de Kalman com o objetivo de minimizar os ruídos presentes no sinal.

A seguir está descrito um método numérico utilizado para encontrar a posição de um determinado produto dada a potência filtrada pelo filtro de Kalman $P_{rec}(dBm)$ levando-se em consideração a Eq. (3) segundo Saab *et al.* (2011):

Passo 0: Desconsiderar $L_D(dBm)$;

Passo 1: $P_{rec}(dB) = P_r(dBm)$;

Passo 2: Encontrar R através da função inversa de $P_r(dBm)$;

Passo 3: Encontrar θ pelas restrições geométricas;

Passo 4: Calcular o $L_D(dBm)$;

Passo 5: Calcular o novo valor de $P_r(dBm)$;

Passo 6: Encontrar R através da função inversa de $P_r(dBm)$;

Passo 7.1: Voltar ao passo 3 até que alguma condição de convergência seja satisfeita;

Passo 7.2: Caso não haja convergência, varia-se R e o respectivo ângulo que obedece à restrição geométrica, encontrar o mínimo da Eq. (4) e consequentemente os melhores valores de R e θ ;

Passo 8: Encontrar o valor da posição do produto em relação ao IPS, $d = R \cos \theta$.

$$F(r) = P_{rec}(dBm) - P_r(dBm) - L_D(dBm) \quad (4)$$

Realizando uma simulação utilizando o método descrito anteriormente, obteve-se o gráfico apresentado na Fig. (1).

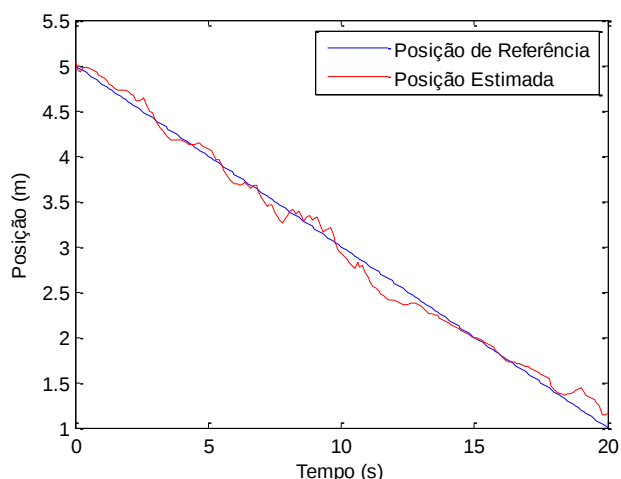


Figura 1. Gráfico da resposta de filtro de Kalman dado um sinal de referência

3.3 Redes de Petri

A Rede de Petri tem sido utilizada amplamente na modelagem gráfica ou matemática, como também para verificação formal das propriedades dos sistemas modelados. As características matemáticas da rede de Petri propiciam sua transferência para rotinas computacionais, fator que auxilia a análise de tarefas de processos produtivos.

Nas redes de Petri elementares, dada uma matriz incidência A^T , de dimensões $n \times m$, pode-se calcular o vetor de estados M_k , de n estados, cujo elemento na posição j denota o número de marcações no estado j após k_n disparos em uma determinada sequência. Para tal, também é necessário um vetor de disparos u_k , um vetor coluna binário de m elementos, onde todos os elementos são nulos, exceto o elemento na posição correspondente à transição a ser disparada. A equação matricial resultante é dada pela Eq. (5).

$$M_k = M_{k-1} + A^T u_k \quad (5)$$

3.4 PNRD e PNRD Estendida

A Rede de Petri Inserida em Base de Dados RFID ou PNRD é uma estrutura de dados formal para identificar e atualizar, em tempo real, o estado de um único item durante a execução do processo a ele vinculado, de forma a propiciar a descoberta automática de eventos inesperados durante a captura de dados das *tags*.

A PNRD estabelece que:

- Leitores são mapeados como transições de redes de Petri, ou seja, determinam o vetor de disparos em função do *tag_id*, estado do item e tempo de captura;
- A *tag* armazena as informações da *tag_id*, estado atual, matriz de incidência e tempo da última captura de dados;
- Cada captura de dados da *tag* altera automaticamente o estado atual de acordo com a Eq. (5). Por se tratar de um único item, é classificada como uma rede de Petri elementar.

Comparando o PNRD com a aplicação padrão do RFID pode-se notar que no caso padrão os dados são capturados da *tag* pelo leitor, que em seguida faz busca em base de dados externa para saber se é uma exceção ou não. Já no PNRD, os dados são armazenados no próprio produto.

O PNRD foi desenvolvido por Tavares e Saraiva (2010) para agregar valor ao RFID e desenvolver um sistema capaz de identificar automaticamente exceções ao que foi previamente planejado.

Para atender processos de montagem e desmontagem, optou-se por substituir a rede de Petri elementar por uma com pseudoestados ou *pseudobox*, representando os componentes do produto. Assim, a PNRD foi estendida acrescentando também a lista de componentes integrado com o vetor de disparos dos leitores. Dessa forma, é possível avaliar se os itens de um produto foram lidos pelo leitor, o que habilitaria o disparo do processo de montagem. O processo de montagem apenas seria concluído quando todos os componentes do produto fossem lidos e ativados pelo processo de PNRD. (Silva *et al.*, 2012).

3.5 PNRD Estendida Integrada com Sistema de Posicionamento RFID

A PNRD Estendida tem foco na identificação individual de itens com processos de montagem e desmontagem, porém, para englobar processos mais complexos que necessitam de pré-condições de distância, a abordagem PNRD Estendida

teve que ser modificada. Afim de representar essa mudança foi utilizada a arquitetura de redes de Petri com pseudoestados com arcos habilitadores, de acordo com Silva *et al.* (2009), para representar valores de distância requeridas para alteração de estado de um item. Com o intuito de exemplificar essa alteração um exemplo será apresentado na Fig. (2).

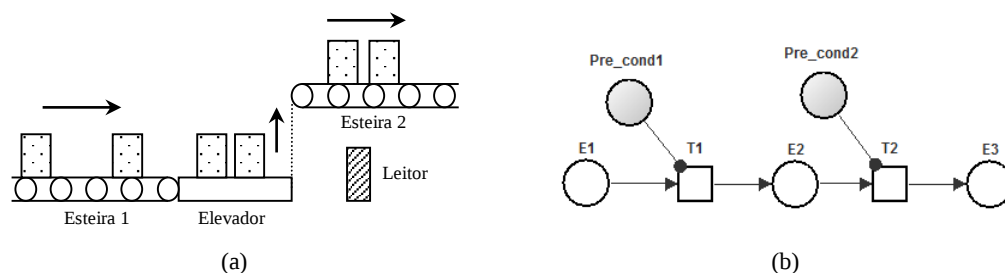


Figura 2. (a) Esquema de um processo de transporte de produtos; (b) Rede de Petri do processo

Os estados, transições e pré-condições estão descritas na Tab. (1).

Tabela 1. Descrição dos estados e transições da rede de Petri

Estado (E)/ Transição (T)	Descrição
E1	Produto presente na esteira 1
T1	Ocorre quando o produto está a uma determinada distância que garanta que o mesmo esteja no elevador (Pre_cond1)
E2	Produto presente no elevador
T2	Ocorre quando há dois produtos no elevador (Pre_cond2)
E3	Produtos presentes na esteira 2

4. CONCLUSÕES

A simulação do sistema de posicionamento indica que o método utilizado é passível de ser implementado em aplicações cuja localização de produtos em ambientes internos seja necessária. Com este parâmetro disponível pelo próprio leitor RFID, é possível utilizá-lo na abordagem da PNRD estendida ampliando-se, assim, a gama de parâmetros de avaliação de habilitação de vetores de disparos.

Nesse caso, além da identificação do produto, estado, momento da captura, leitor/antena e lista de componentes, parâmetros de distância e seus derivados, tais como velocidade e aceleração, podem ser utilizados na dinâmica de atualização de estados do processo em questão.

5. REFERÊNCIAS

- Azambuja, M., C. Modelos e Técnicas para Simulação de Sistemas UHF de Identificação por Rádio Frequência (RFID). 2011.
- Caetano, M., A., L. Filtro de Kalman. M & V Consultoria e Treinamento. 2010.
- Saab, S., S. e Nakad, Z., S. A Standalone RFID Indoor Positioning System Using Passive Tags. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2011.
- Silva, J.R., San Pedro, J.A.M., Oliveira, A. S., Gonzales, P. M. F., 2009, Introducing Object-Orientation in Unified Petri Net Approach. In Proceedings of 20th International Conference of Mechanical Engineering, November 15-20, 2009, Gramado, RS, Brazil.
- Silva, P.G., Tavares, J.J.P.Z.S., Sistema de Montagem e Desmontagem Baseado em PNRD. Anais do XIX Congresso Brasileiro de Automática, CBA 2012.
- Tavares, J.J.P.Z.S., Saraiva, T.A. Elementary Petri Nets Inside RFID Database. International Journal of Production Research, Volume 48, Issue 9 January, 2010, pages 2563 – 2582.