

INFERÊNCIA DO FLUXO DE PRODUÇÃO EM INDÚSTRIA DE CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DE GRANDES ESTRUTURAS COM TECNOLOGIA RFID E GPS: ESTUDO DE CASO EM UM ESTALEIRO

ÁTILA ASTOR WEIS*, THIAGO MANUEL FORTUNATO DA COSTA*, GABRIEL LAVOURA DOS SANTOS*, VANESSA TELLES DA SILVA*, CAUE GOMES DE OLIVEIRA*, NELSON LOPES DUARTE FILHO*, SILVIA SILVA DA COSTA BOTELHO*

*Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Km 8 - Av. Itália - Carreiros, 96203-900, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil

Emails: atilaweis@furg.br, thiagofortunato@furg.br, gabriellavoura@outlook.com, tellesvanessa07@gmail.com, cauego96@hotmail.com, dmtnldf@furg.br, silviacb@furg.br

Abstract— This paper presents a system production flow mapping in shipyards with RFID and GPS technologies. The system should allow tracking, in real time, vehicles and metal blocks used in shipbuilding, allow visualization and data storage, enabling better resources management and enhancing Brazilian shipyards competitiveness. A prototype was developed and a case study was carried out into a Shipyard where it was possible to track vehicles and metal blocks inside the plant and will be presented in this paper.

Keywords— RFID, GPS, Tracking, Shipyard.

Resumo— Este trabalho apresenta um sistema para mapeamento do fluxo de produção em estaleiros com uso de tecnologia RFID e GPS. O sistema deve permitir o rastreamento de veículos e blocos metálicos empregados na construção naval, em tempo real, permitir a visualização e o armazenamento dos dados, permitindo melhor gerenciamento dos recursos e aumentando a competitividade dos estaleiros brasileiros. Um protótipo foi desenvolvido e um estudo de caso foi realizado no chão de fábrica de um estaleiro naval em que foi possível o rastreamento de veículos e de blocos dentro da planta do estaleiro e serão apresentados neste trabalho.

Palavras-chave— RFID, GPS, Rastreamento, Estaleiro.

1 Introdução

O processamento de grandes toneladas de chapas metálicas de forma a conceber estruturas marítimas é o núcleo da indústria de construção e montagem naval e *offshore*. Mesmo que se busque uma padronização dos projetos de embarcações, ainda tem-se a construção de um navio como um projeto único. Um navio será um projeto único, constituído de um conjunto de blocos montados, à partir de chapas, painéis e tubulações (Eyres and Bruce, 2012).

Esta característica dificulta a automatização e robotização de linhas de produção, tais como automobilísticas, por exemplo, onde células robotizadas substituem a necessidade de metalurgias na linha de produção [(Engelberger, 2012), (Michalos et al., 2010)]. Assim, indústrias de construção e montagem de navios e plataformas se caracterizam por empregar dezenas de milhares de operários, sobretudo, realizando operações de tratamento, soldagem e montagem de chapas metálicas (Andritsos and Perez-Prat, 2000). A vultuosidade de uma plataforma/navio, implica na necessidade de gerenciamento e logística do processo produtivo de forma a organizar o fornecimento dos insumos e escalonar o quantitativo de homem/hora associado às atividades de tratamento, corte, solda, submontagens e montagens de seus blocos e estruturas (Liu and Jiang, 2005).

Desta forma, estaleiros se constituem em sistemas de manufatura complexos, onde a identifi-

cação e uso de tecnologias para melhoria da produção e aumento da competitividade ainda é um desafio a ser tratado. Por exemplo, supondo-se que um projeto leva em torno de um ano para ser executado e envolve o processamento e montagem de dezenas de milhares de peças: painéis e tubulações que compõem os blocos, com a identificação e rastreamento automáticos, permitiria acompanhar de forma mais precisa os estágios da produção, reconhecendo pontos de gargalos e melhorias do processo.

Atualmente tecnologias de identificação e rastreamento utilizando Identificadores de Rádio Frequência (*Radio Frequency Identifiers - RFID*) e sistema de Posicionamento Georreferenciado estão sendo utilizados para localizar e mapear o deslocamento de insumos [(Prasanna and Hemalatha, 2012), (Viani et al., 2012), (Arebey et al., 2010), (Majrouhi Sardroud and Limbachiya, 2010)]. A ideia é que o uso de RFID e Georreferenciamento possibilite mais rapidez na localização de insumos, equipamentos e pessoas, permitindo um melhor acompanhamento e gerenciamento dos recursos necessários para manufatura. Ao identificá-los e alocá-los corretamente em cada fase da produção, aumenta-se a competitividade do processo em decorrência da detecção de retrabalho, desperdícios e ociosidades.

Entretanto, em um Estaleiro, a presença de locais *indoor* - sem a presença de sinal GPS - a alta escalabilidade dos insumos a serem rastreados - dezenas de milhares de chapas metálicas -

e as características eletro-magnéticas e insalubres do meio - poeira, faíscas, sujeiras - dificultam a adoção de técnicas de RFID e GPS, atualmente utilizadas em empresas de construção e montagem, seja pelo custo envolvido, seja pela interferência da natureza imposta do meio no desempenho da tecnologia utilizada. Assim, este trabalho visa estudar o processo de produção de indústrias de construção e montagem de navios e plataformas, de forma a propor um sistema de identificação e rastreamento do fluxo de produção, capaz de ser implementado em estaleiros. A proposta deverá tratar as questões de alta escalabilidade e a natureza imposta do meio.

De forma mais precisa, com base no processo de produção de um estaleiro, constata-se que o monitoramento das etapas de montagem de blocos é a principal informação relativa ao fluxo de produção desta indústria. Ao rastrear-se somente os blocos, restringem-se em centena de vezes a escalabilidade dos insumos a serem rotulados, mas ainda deve-se tratar as interferências eletromagnéticas e características insalubres do meio.

Partindo-se do pressuposto que blocos são estruturas de porte elevado e cuja evolução ao longo do processo de montagem envolve o seu deslocamento ao longo do chão de fábrica, o monitoramento do fluxo de produção pode ser obtido através do rastreamento do deslocamento dos blocos em construção. Para isso são empregados veículos (as *KAMAG's*) que movimentam os blocos dentro da planta do estaleiro e pórticos guindastes, o que permite que maior parte das seções do navio sejam produzidas fora do dique seco, diminuindo custos com a produção, uma vez que o dique seco é a área mais requisitada de um estaleiro.

Como, devido as suas proporções e pesos, a movimentação destas estruturas será sempre realizado através destes veículos de transporte de carga, tem-se como hipótese neste trabalho que a identificação do fluxo de produção de um estaleiro pode ser obtida a partir de um sistema que monitore seus equipamentos de transporte de grandes cargas. Assim, ao rastrear-se apenas os veículos de transporte diminui-se em milhares de vezes o número de elementos a serem rastreados, além de poder contar com a possibilidade de uso de sinal GPS combinado com RFID, uma vez que tais veículos circulam tanto em áreas *indoor* - oficinas, câmaras de pintura, etc - quanto em áreas *outdoor* - pátio de chapas e dique seco. Este trabalho apresenta portanto, um protótipo que emprega tecnologia RFID e GPS, a fim de, permitir o rastreamento das *KAMAG's* e dos blocos movimentados e armazenados dentro do estaleiro.

Propõe-se um sistema de *software* e *hardware* embarcado composto dos seguintes módulos:

- Etiquetas (*tags*) RFID para identificação de blocos: cada bloco em processo de montagem

será etiquetado por 4 *tags* dispostas em seu corpo;

- Módulo Embarcado de Rastreamento de Veículo e Bloco: este módulo deverá ser acoplado à cada veículo de transporte e basicamente será composto de três elementos:

1. Leitor RFID: para identificação de bloco a ser transportado;
2. Módulo de localização GPS: para rastreamento do veículo ao longo chão de fábrica;
3. Sistema de comunicação em tempo real.

- Módulo de aplicação: responsável por fornecer em tempo real as informações referentes ao estado de cada bloco em montagem (etapa do fluxo de produção). Deve-se permitir a localização destes recursos em planta, em tempo real, além de propiciar a visualização e armazenamento destas informações.

A tecnologia proposta está sendo aplicada em um estaleiro nacional de forma a modelar o seu fluxo de produção, identificando gargalos e contribuindo para o aumento de competitividade da empresa. Este artigo inicialmente apresentará uma revisão das tecnologias utilizadas de forma a permitir o entendimento da proposta apresentada na seção 3. O estudo de caso realizado no estaleiro é detalhado na seção 4, seguindo das conclusões do trabalho.

2 Tecnologia RFID e GPS

RFID é uma tecnologia sem fio para coleta e armazenamento de dados que faz uso de ondas de rádio para rastreamento e identificação automática de dispositivos denominados etiquetas. Com o avanço na tecnologia, a miniaturização e a diminuição dos custos, sistemas de Identificação por Rádio Frequência se tornam cada vez mais viáveis para aplicações industriais como: cadeia de suprimento de peças, controle de estoques e rastreamento de produtos, por exemplo.

A tecnologia RFID apresenta um potencial grande de granularidade, o que torna menor o custo por unidade rastreada. Ainda que o custo inicial ser grande para aquisição de leitores RFIDs, quanto mais objetos forem rastreados, menor será o custo associado por unidade rastreada nesta tecnologia.

Há a possibilidade de se rastrear uma etiqueta dentro de uma rede de leitores. O indicador de intensidade do sinal recebido (RSSI - *Received Signal Strength Indicator*) indica quão próximo do leitor está a *tag*. Esta informação é retirada das ondas de RF que chegam ao leitor e, com uma etiqueta em uma rede de leitores, com a informação das posições dos leitores pode-se, por meio de

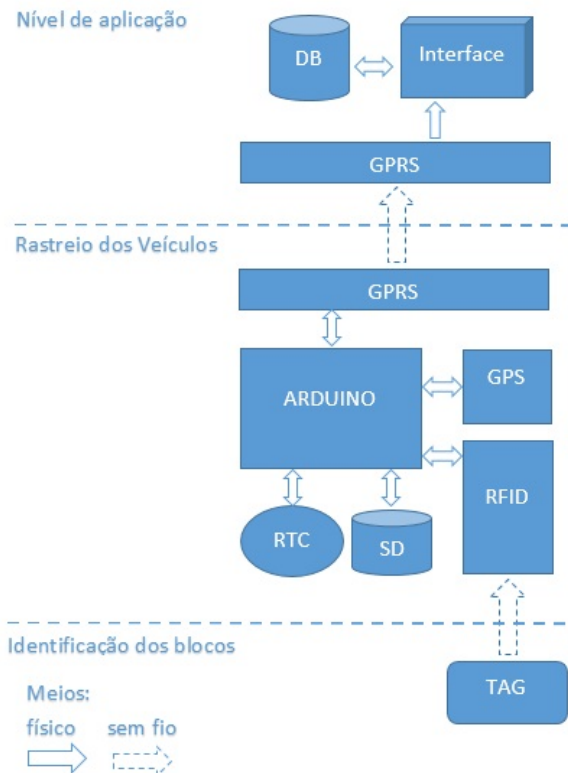


Figura 1: Fluxo dos dados e organização da arquitetura proposta.

diferentes métodos, estimar a posição da etiqueta nesta área (Bouet and Dos Santos, 2008).

O Sistema de Posicionamento Global (GPS ou NAVSTAR-GPS) é um sistema de rádio navegação composto por 24 satélites em órbita terrestre, separados em seis planos orbitais (Parkinson, 1996). Cada satélite possui um relógio atômico e, por meio de estações fixas terrestres, obtém sua posição e a transmite ao usuário juntamente com a informação do relógio atômico. O sistema está disponível em todo o campo Terrestre desde que o usuário esteja no campo de visão de pelo menos 4 satélites, 3 para cálculo geométrico de posicionamento e o 4º devido a não sincronização entre os relógios dos satélites e do usuário (Albuquerque and SANTOS, 2003). Dessa forma, através de cálculos geométricos das pseudodistâncias entre os 4 satélites e o usuário é possível estabelecer sua localização, as coordenadas geográficas, a velocidade de deslocamento, a altitude e a hora local do receptor.

3 O Sistema Embarcado

O sistema de *software* e *hardware* embarcado foi desenvolvido a fim de permitir o rastreamento dos elementos dentro da planta do estaleiro, bem como de armazenar as informações e transmiti-las em tempo real para um servidor, onde estarão as interfaces para acompanhamento e gerenciamento.

O sistema, por ser um sistema embarcado, deve ser de baixo custo, baixo consumo de energia, dimensões reduzidas e robusto suficiente para operações em ambientes fabris. Para rastreamento dos veículos, foi escolhida a tecnologia GPS e para os blocos, a RFID: com a etiqueta disposta nos blocos e o leitor em cada veículo.

Sistemas de rastreamento que fazem uso de tecnologia RFID [(Vargas, 2006), (Renuka et al., 2013), (Fry and Lenert, 2005), (Jose et al., 2013), (He et al., 2009)] partem da ideia de que o leitor RFID possui uma posição fixa conhecida. Nesta aplicação, uma abordagem diferenciada foi tomada, devido à área total para rastrear os elementos dentro do estaleiro, o número de leitores necessários inviabilizaria a escolha da tecnologia, devido aos custos com os leitores. Devido ao número baixo de veículos *KAMAG's* e pórtilos para rastrear, foi escolhido a tecnologia GPS para rastreamento dos veículos e, como hipótese que os blocos só são movimentados pelas *KAMAG's* e pórtilos, adicionando leitores RFID a estes veículos e *tags* aos blocos, rastreia-se as movimentações dos blocos. Assim, ao associar-se os dados dos leitores RFID com a informação de latitude e longitude obtidas pelo módulo GPS dos veículos, pode-se inferir a posição, ou a área dentro do estaleiro, em que cada bloco rastreado está. Como em um estaleiro, a localização de um bloco relaciona-se diretamente com a etapa de sua montagem (áreas de tratamento, corte, montagem e pintura) à partir da identificação da sua posição, pós deslocamento, infere-se a entrada deste insumo em uma nova atividade de produção. Desta forma, obtemos uma solução ótima com menor custo associado.

A Figura 1 apresenta a arquitetura do sistema proposto. No nível de aplicação, faz-se o uso de um *framework* previamente desenvolvido que disponibiliza o banco de dados e a interface para visualização dos dados e extração de relatórios, não abordados neste trabalho. Detalha-se aqui os dois outros níveis, responsáveis pelo rastreamento dos elementos.

3.1 O Módulo de Rastreamento de Veículos

Este módulo é composto por um sistema embarcado que tem como base a plataforma de desenvolvimento de código aberto Arduino. A solução é responsável pela comunicação e processamento dos dados de todos os componentes nele conectados. Para sua implementação foram escolhidos o modelo do Arduino UNO e os módulos compatíveis: GPS (*ITead Studio V1.0* - com interface para cartão microSD) e GPRS (*IComSat V1.1* - com um RTC embutido), para comunicação sem fio com o servidor. O leitor RFID de tags ativas e uma bateria finalizam a composição do protótipo.

O *software* desenvolvido para o sistema embarcado funciona em um *loop* de quatro passos:



Figura 2: À esquerda: imagem da cabine do motorista com o protótipo, à direita: encapsulamento do protótipo desenvolvido com as antenas RFID e GPS em evidência.

1. identifica data e hora no módulo RTC;
2. identifica informações de latitude e longitude do GPS;
3. aguarda, por um período T, a identificação de tags válidas pelo leitor RFID;
4. transmite/armazena os dados coletados.

No final de um *loop* temos a seguintes mensagem:

DD/MM/AA HH:MM:SS [LAT][LONG] [TAG
ID 1][RSSI] [TAG ID 2][RSSI] ...

O módulo de identificação de bloco congrega o conjunto de tags que são associadas a cada um dos blocos a serem rastreados. Tendo em vista a insalubridade do meio, referente a presença de ruído eletro-magnético, choques entre as peças e sujeira, foram especificadas as tags do fabricante *Wavetrend*, modelo *Asset Tag (TGA)*, por serem desenvolvidas para uso externo e em superfícies metálicas, além de apresentarem as seguintes características:

- Temperatura de operação: -30°C a $+60^{\circ}\text{C}$;
- Frequência de operação: 433,92 Mhz;
- Alcance: maior que 100 m - dependente da antena em uso;
- Alimentação: interna por bateria de lítio que chega a durar 3 anos;
- Encapsulamento: IP67 à prova d'água.

Ressalta-se que devido a sua facilidade de reposição na peça, uma mesma tag pode ser reaproveitada para diferentes blocos uma vez que seu processo de montagem tenha sido finalizado.

No estudo de caso realizado no estaleiro foram testados a aplicabilidade das tecnologias de rastreamento. Portanto, os testes da comunicação entre o sistema embarcado e o servidor não são descritos neste trabalho.

4 Estudo de Caso

Foram realizados testes em um estaleiro para comprovar a aplicabilidade das tecnologias para rastreamento em ambiente hostil à RF, pela presença de altas tensões e grande número de superfícies metálicas. Nos testes, foram efetuados deslocamentos no pátio do estaleiro com uma KAMAG que transportava um bloco, simulando movimentações realizadas diariamente. Foram fixadas três tags ativas no bloco e inserido o protótipo na cabine do motorista, como pode-se ver o protótipo na Figura 2. Os testes não previam outra forma de rastreamento para posterior comparação e validação dos dados, dessa forma, foram analisadas visualmente no local, os trajetos dos deslocamentos e, posteriormente, comparados com os dados armazenados no cartão SD do sistema embarcado.

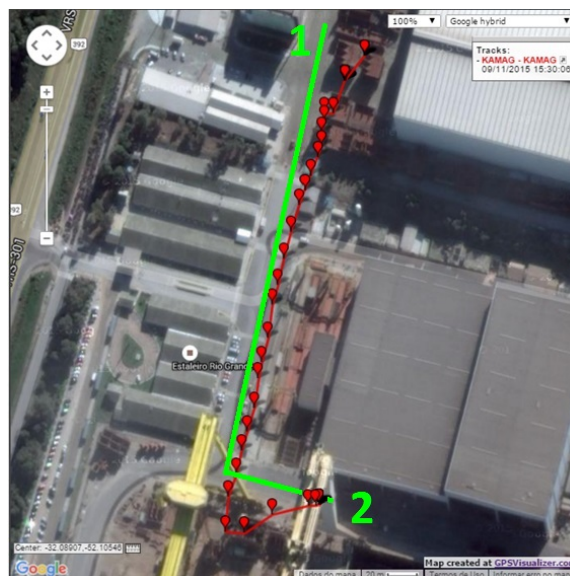


Figura 3: Trajeto do deslocamento executado no teste.

Como pode-se observar, a Figura 3 ilustra um



Figura 4: Pontos de leitura das tags durante o deslocamento.

dos testes efetuados no estaleiro - as imagens foram geradas utilizando uma plataforma *online*, disponível em (Adam Schneider, 2015), simulando a interface desejada para visualização dos dados, que será desenvolvida posteriormente. Em verde encontra-se o trajeto do deslocamento, de 1 para 2, e em vermelho os pontos de leitura de latitude e longitude do módulo GPS. Pode-se observar que há um erro associado entre o trajeto e o ponto dado pelo GPS, este erro é inerente ao sistema GPS quanto ao uso civil da tecnologia e é de no máximo 10 metros, o que não compromete o rastreamento da KAMAG que possui dimensões superiores a este erro. Já na Figura 4, pode-se observar os pontos de latitude e longitude em que o sistema fez leituras válidas de uma ou mais tags fixadas no bloco. Como pode-se notar, o número de pontos em que ocorreram leituras das tags é bem menor do que os pontos de leitura do GPS, e isso se dá por causa das diversas interferências presentes no ambiente que degradam os sinais e interferem na leitura. Mesmo assim, é possível identificar os pontos de partida e chegada, permitindo o rastreamento do bloco no período de movimentação.

A posição das tags no bloco afetaram diretamente a leitura das mesmas. A tag mais próxima do leitor foi responsável pela maior parte dos dados coletados durante a movimentação. Por isso, um estudo para melhor alocação das tags nos blocos deve ser realizado futuramente, levando em consideração as dimensões de cada tipo de bloco produzido e o número ótimo de tags empregadas no seu rastreamento, para que, dessa forma, sejam empregados um número mínimo de tags em cada bloco.

A cada leitura de uma tag é armazenada também a informação referente ao RSSI, o que permi-

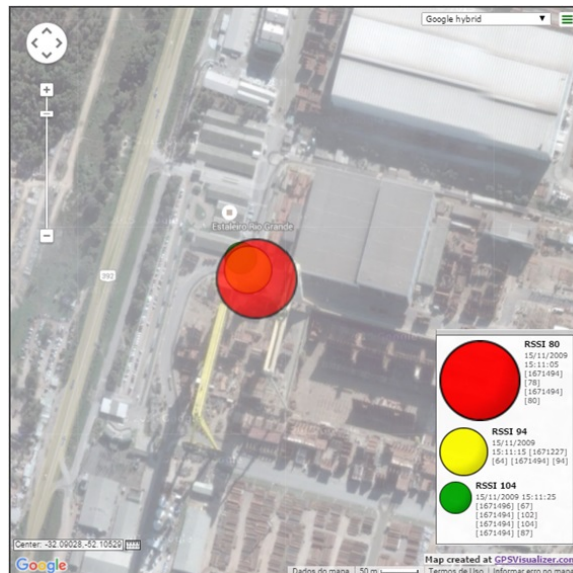


Figura 5: Leitura de tag estacionária.

tirá, posteriormente, a inferência de uma determinada área em que o bloco armazenado se encontra. Como pode-se visualizar, na Figura 5, está ilustrado o teste realizado com uma tag fixada em um ponto estacionário do pátio do estaleiro, simulando um bloco armazenado. Como o protótipo estava fixo na KAMAG, pode-se notar que, ao se aproximar da tag estacionária, o valor de RSSI aumenta. Dessa forma, os círculos ilustrados possuem o raio inversamente proporcional ao valor RSSI e estão centrados nas posições de latitude e longitude das leituras, diminui-se então a área em que o bloco possa estar. A atenuação nos sinais de RF pode ser representada por uma aproximação de uma função logarítmica, como pode ser observado nos testes práticos em (Cheriet et al., 2013). Contudo, o ambiente em que se está inserido afeta diretamente a aproximação, por isso, testes posteriores devem ser realizados no local, para se extrair uma relação mais direta entre o valor de RSSI e a distância entre o leitor e a tag.

Desta forma, foi possível rastrear tanto os blocos armazenados, quanto os blocos sendo movimentados no pátio do estaleiro. O que permite melhor controle e gerenciamento na utilização dos veículos e na localização no pátio de blocos armazenados.

5 Conclusões

O mapeamento do fluxo de produção é fundamental em sistemas de manufatura complexos como estaleiros e é um importante fator na busca por maior competitividade do setor. Os testes realizados no estudo de caso, apresentaram-se bem sucedidos, validando o protótipo desenvolvido: demonstraram a capacidade no rastreamento dos veículos de transporte com uso de GPS e dos blocos com

tecnologia RFID, viabilizando o acompanhamento dos recursos do estaleiro. Nos trabalhos futuros pretende-se desenvolver ainda o servidor responsável pelo armazenamento definitivo dos dados, as interfaces aos usuários e implementarmos o protocolo de comunicação baseado em *pub-sub* - o MQTT - que permite uma maior transparência na integração entre as diferentes soluções propostas no projeto.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico -, CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - pelo apoio financeiro a este projeto.

Referências

- Adam Schneider (2015). GPS Visualizer, <http://www.gpsvisualizer.com/>. Online; acessado em 09 de Novembro de 2015.
- Albuquerque, P. C. G. and SANTOS, C. C. d. (2003). Gps para iniciantes, *São José dos Campos, INPE*.
- Andritsos, F. and Perez-Prat, J. (2000). *State-of-the-art report on The Automation and Integration of Production Processes in Shipbuilding*, European Commission, Joint Research Centre, ISIS.
- Arebey, M., Hannan, M., Basri, H., Begum, R. A. and Abdullah, H. (2010). Solid waste monitoring system integration based on rfid, gps and camera, *Intelligent and Advanced Systems (ICIAS), 2010 International Conference on*, IEEE, pp. 1–5.
- Bouet, M. and Dos Santos, A. L. (2008). Rfid tags: Positioning principles and localization techniques, *Wireless Days, 2008. WD'08. 1st IFIP*, IEEE, pp. 1–5.
- Cheriet, A., Ouslim, M. and Aizi, K. (2013). Localization in a wireless sensor network based on rssi and a decision tree, *Przeglad Elektrotechniczny* **89**: 121–125.
- Engelberger, J. F. (2012). *Robotics in practice: management and applications of industrial robots*, Springer Science & Business Media.
- Eyres, D. J. and Bruce, G. J. (2012). *Ship construction*, Butterworth-Heinemann.
- Fry, E. A. and Lenert, L. A. (2005). Mascal: Rfid tracking of patients, staff and equipment to enhance hospital response to mass casualty events, *AMIA Annual Symposium Proceedings*, Vol. 2005, American Medical Informatics Association, p. 261.
- He, W., Tan, E. L., Lee, E. W. and Li, T. (2009). A solution for integrated track and trace in supply chain based on rfid & gps, *Emerging Technologies & Factory Automation, 2009. ETFA 2009. IEEE Conference on*, IEEE, pp. 1–6.
- Jose, J. I. S., Pastor, J. M., Zangroniz, R. and de Dios, J. J. (2013). Rfid tracking for urban transportation using epcglobal-based web-services, *Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), 2013 27th International Conference on*, IEEE, pp. 1295–1300.
- Liu, B. and Jiang, Z.-h. (2005). The man-hour estimation models & its comparison of inter-rim products assembly for shipbuilding, *International Journal of Operations Research* **2**(1): 19–14.
- Majrouhi Sardroud, J. and Limbachiya, M. (2010). Effective information delivery at construction phase with integrated application of rfid, gps and gsm technology.
- Michalos, G., Makris, S., Papakostas, N., Mourtzis, D. and Chrysosolouris, G. (2010). Automotive assembly technologies review: challenges and outlook for a flexible and adaptive approach, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* **2**(2): 81–91.
- Parkinson, B. W. (1996). *Progress in Astronautics and Aeronautics: Global Positioning System: Theory and Applications*, Vol. 2, Aiaa.
- Prasanna, K. and Hemalatha, M. (2012). Rfid gps and gsm based logistics vehicle load balancing and tracking mechanism, *Procedia Engineering* **30**: 726–729.
- Renuka, N., Nan, N. C. and Ismail, W. (2013). Embedded rfid tracking system for hospital application using wsn platform, *RFID-Technologies and Applications (RFID-TA), 2013 IEEE International Conference on*, IEEE, pp. 1–5.
- Vargas, J. (2006). Rfid application to control unauthorized egress of people with spatial disorientation, *Engineering in Medicine and Biology Society, 2006. EMBS'06. 28th Annual International Conference of the IEEE*, IEEE, pp. 6392–6395.
- Viani, F., Salucci, M., Robol, F., Oliveri, G. and Massa, A. (2012). Design of a uhf rfid/gps fractal antenna for logistics management, *Journal of Electromagnetic Waves and Applications* **26**(4): 480–492.