

APLICAÇÕES E POTENCIALIDADES DO MAPEAMENTO MÓVEL

JOÃO FERNANDO CUSTODIO DA SILVA¹
ELENICE CRISTINA DA CRUZ³
MARIANA DIAS CHAVES³
MAURÍCIO CORREIA LEMES NETO³
EDICO RAMON MELO⁴
MILTON HIROKAZU SHIMABUKURO²

Universidade Estadual Paulista – Unesp
Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT

¹Departamento de Cartografia, ²Departamento de Matemática e Computação

³Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas

⁴Curso de Engenharia Cartográfica

¹jfcsilva@fct.unesp.br

Presidente Prudente – SP

RESUMO – O mapeamento móvel é um método de aquisição de imagens georreferenciáveis que utiliza uma plataforma móvel na qual são embarcados os sensores e demais equipamentos. Requer processamento e análise de distintos tipos de dados, dos quais resultam posição, velocidade e atitude (PVA) dos sensores (câmeras e LIDAR), com os quais se produzem as imagens georreferenciadas. O artigo traz breve descrição, evolução e avanço tecnológico do método e apresenta as principais áreas de aplicação. Os dispositivos móveis, a resolução crescente dos sensores de imagem, os sensores inerciais de baixo custo e a capacidade computacional dos processadores de 64bits indicam que a metodologia tem potencial para novas aplicações. Estas requerem portabilidade, mobilidade e acessibilidade a locais em que PVA tem de ser estimadas por métodos que prescindem da navegação por satélites.

Palavras chave: Mapeamento móvel, orientação do sensor, integração de dados.

ABSTRACT – Mobile mapping is a method of acquisition of georeferenced images that uses a moving platform in which sensors and other devices are set on board. It requires processing and analysis of distinct datatypes that provide position, velocity, and attitude (PVA) of the sensors (cameras and LIDAR), which lead to georeferenced images. The article brings a brief description, evolution, and technologic advances of the method and it also shows the main application branches. The mobile devices, the growing image sensor resolution, the low cost inertial sensors, and the computational performance of the 64-bit processors indicate that this methodology has potential for new applications. These new possibilities demand portability, mobility, and accessibility to sites where PVA have to be estimated by non satellite navigation methods.

Key words: Mobile mapping, sensor orientation, data integration.

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia do mapeamento móvel surgiu com o embarque e integração de sensores de posicionamento e navegação para a determinação da trajetória de um veículo, associados a vídeo-câmeras digitais cuja orientação espacial é completamente determinada. Bossler et al. (1991) construíram o primeiro sistema de mapeamento móvel (SMM) quando montaram um receptor GPS e um par de vídeo-câmeras no teto de uma van para o fim específico de mapear rodovias (figura 1).



Figura 1 – GPSVan de 1991 (NOVAK, 1995).

Atualmente, há SMM construídos em diversas configurações de sensores. A concepção de um SMM é

caracterizada por uma plataforma móvel, receptor (e antena) GNSS (*Global Navigation Satellite System*), unidades de medida de inércia (*inertial measurement unit* – IMU), câmeras digitais de vídeo (*charge coupled device* – CCD, e *complementary metal-oxide semiconductor* – CMOS) e LIDAR (*light detection and ranging*). Há também sensores auxiliares (hodômetro, barômetro e magnetômetro), que remetem a um método simples de navegação por estimação (*dead reckoning* - DR).

A plataforma móvel era um veículo automotor terrestre (carro, caminhão, trator ou motocicleta); a necessidade e a criatividade ensejaram SMM em trens, barcos e pedestres, de modo que onde for possível a presença humana equipada com estes sensores estar-se-á diante do uso do mapeamento móvel (figura 2).



Figura 2 - Exemplos de aplicações especiais.

Esta tecnologia também está presente em veículos aéreos com a finalidade de se determinar a plena orientação espacial dos sensores de luz (câmeras e LIDAR), método conhecido por georreferenciamento direto (GRD). Os veículos aéreos não tripulados (VANT) e os robôs terrestres são expressões tecnológicas da integração dos diferentes tipos de sensores para fins de mapeamento e outras tantas aplicações. A figura 3 ilustra o GRD no caso terrestre móvel: as coordenadas de P, com respeito ao sistema referencial externo (SRE), são determinadas após o processamento da posição e orientação das câmeras dadas pela integração dos dados inerciais e de navegação por satélite.

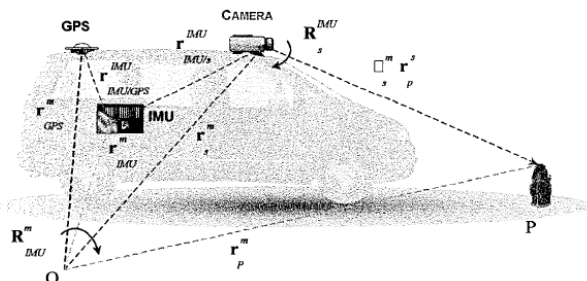


Figura 3 – Inter-relação dos sistemas referenciais da metodologia do mapeamento móvel (ELLUM; EL-SHEIMY, 2002).

2 APLICAÇÕES

A maioria das aplicações é para levantamentos dos caminhos, e seus entornos, por onde a plataforma móvel pode se locomover, como ruas, rodovias, ferrovias, hidrovias. Recentemente, passagens, corredores e ambientes internos já são percorridos por humanos e robôs portando uma unidade móvel de levantamento de dados. A trajetória predominante é linear e longilínea (EL-SHEIMY, 2009). Além do mapeamento e da visualização 3D, há também aplicações ambientais em praias, massas d'água e florestas. Por exemplo, o monitoramento da morfologia (entorno) e batimetria fluvial (KUKKO et al., 2010); a cobertura de neve em regiões onde a quantidade de neve é significativa; reobservação de áreas costeiras (figura 2) após tempestades (GONÇALVES et al., 2009); e verificação dos aceiros em áreas reflorestadas. Áreas urbanas e rurais danificadas por terremotos também são recuperadas com o apoio do mapeamento móvel (SHAO et al., 2009).

As aplicações dominantes recaem nas vias de transporte e seus arredores para os fins de mapeamento topográfico e inventário cadastral (ativos), utilidades (água, saneamento, energia, comunicações de dados e voz), apoio a projetos de engenharia (transportes, infraestrutura urbana e rodoferroviária, segurança, fiscalização e monitoramento de obras de construção civil – *as built*, entre outras), arquitetura e urbanismo (estética, conforto térmico e acústico) e meio-ambiente. A cartografia e a modelagem geométrica de rodovias (KARAMANOU et al., 2010) e ferrovias (WU et al., 2009), mediante a determinação do eixo central, das obras de arte e dos equipamentos de segurança e sinalização, a visualização panorâmica e vertical (FANG et al., 2009), são contribuições para fiscalizar, monitorar e gerenciar a infraestrutura de uma rede rodoferroviária.

As aplicações iniciais recaem na extração da linha central (eixo) e das linhas demarcatórias das faixas de rolamento usando métodos de processamento de sequências de imagens (BOSSLER; TOTH, 1996). Estas linhas são usadas para o mapeamento da rodovia e para as pesquisas sobre navegação autônoma dos veículos. Os usos mais recentes pertencem aos campos da visualização 3D, realidade virtual, modelagem 3D de cenários urbanos e de rodovias e ferrovias (SCHALL et al., 2010).

A riqueza de pormenores fica estampada nos megapixels das sequências de imagens de resolução mais do que suficiente para a análise visual. A resolução, porém, tende a crescer, de modo a exigir mais das técnicas de processamento digital. O armazenamento já é possível em quantidades de terabytes. Estas imagens são georreferenciadas (em tempo real) ou georreferenciáveis (pós-processamento). Para fins de mapeamento e visualização, os dados pós-processados geram informações espaciais que atendem os requisitos de precisão métrica e submétrica, conforme as configurações da integração GNSS/INS/DR.

Os métodos visuais e manuais não oferecem a gama de possibilidades que os métodos digitais, em qualquer das etapas do processo de produção da informação geográfica: aquisição, armazenamento, recuperação, processamento, análise e utilização. O fluxo

eletrônico da geoinformação intra e entre diferentes setores de uma organização oferece vantagens e praticamente é uma exigência para estar em dia com o paradigma tecnológico dado o nível informacional da sociedade atual. O mapeamento móvel pode ser inserido nas áreas em que a geoinformação é parte do processo de produção que depende do uso intensivo do sistema viário, por exemplo. As etapas de gestão operacional, planejamento, projeto, resposta de emergência, supervisão da segurança, gestão de ativos, análise e tomada de decisão são reforçadas com este tipo de informação geográfica visual passível de ser integrada aos sistemas de informação geográfica.

3 POTENCIALIDADES

Apesar de que o mapeamento dos ativos da infraestrutura urbana e rodoviária, desde o princípio, foi um dos grandes objetivos desta metodologia, apenas recentemente, alguns potenciais usuários deram início a estudos para atender a suas necessidades. Em alguns casos, é uma necessidade de ordem legal; em outros, o interesse social – segurança viária – é mais perceptível. No primeiro caso, é uma exigência do órgão regulador do setor de energia elétrica brasileiro que se cadastre todos os ativos das concessionárias de distribuição de energia elétrica em um sistema de informação geográfica regulatório (ANEEL, 2009). Especula-se se os ativos ao longo das vias urbanas e rurais e rodovias podem ser levantados e identificados com o uso do mapeamento móvel veicular e pedestre (figura 4).

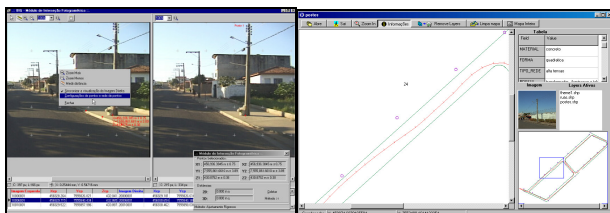


Figura 4 – Interseção fotogramétrica para determinar a posição e a altura de um poste (OLIVEIRA et al., 2003), alto; Mapa dos postes em arruamentos urbanos (SANTOS et al., 2003), baixo.

A segunda menção é uma contribuição para a segurança viária. Milhões de veículos que transportam pessoas e cargas se deslocam diariamente de modo que a segurança é um quesito de altíssima importância. A partir de relatórios de sinistros nas principais rodovias do País, é possível a visualização cartográfica e tridimensional dos dados geométricos e estatísticos e trechos geográficos da sinistralidade (BRASIL, 2009; 2010). Os acessos e os cruzamentos, as interferências e as ajudas, e a qualidade da pista de rolamento das rodovias são monitoradas ou mapeadas para garantir conforto e segurança dos usuários (figura 5). Considerando-se os acidentes rodoviários no Brasil, esta aplicação tecnológica tende a ter expressivo benefício social e pedagógico. Cinco variáveis importantes podem ser analisadas isolada ou

conjuntamente: a geometria da via (WANG et al., 2009) e as condições do pavimento, do veículo, do condutor e condições ambientais: chuva, sol, vento, poeira, fumaça, temperatura etc. (FERRAZ et al., 2008).



Figura 5 – Mapa e ilustração de via com presença de buraco (PEREIRA et al., 2010).

A estimação da velocidade do veículo (BARBOSA et al., 2007) e do estado de tráfego viário são desafios para a engenharia de tráfego devido à implantação de sensores e infraestrutura de controle. Uma solução é testada por um algoritmo de modelagem inversa para reconstruir o estado de tráfego (campo de velocidade) em rodovias a partir de observações GPS (*Global Positioning System*) e imagens feitas por telefones móveis a bordo de veículos (WORK et al., 2008). Inevitavelmente, há tráfego em torno das plataformas móveis capturado pelas imagens. A maioria dos aplicativos para mapeamento concentra-se em objetos estacionários e o fluxo circundante é visto como ruído ou contaminação. Para avaliar a qualidade dos dados estacionários (ativos, por exemplo), é necessário que a detecção do movimento do tráfego circundante seja automatizada. E este é tratado de modo distinto para a estimação de tráfego (SUN et al., 2009).

Algumas situações especiais, tais como túneis rodo-ferroviários e túneis estreitos em sítios arqueológicos (PARES, 2012) podem ser levantados com um sistema móvel integrado de IMU e câmera de alta sensibilidade (visão noturna). Vislumbra-se também o uso potencial do mapeamento móvel integrado a um sistema de informações geográficas dedicado aos serviços baseados em localização (WU et al., 2009).

As câmeras digitais com sensores CCD e CMOS oferecem resolução de megapixels; computadores portáteis com processadores multinúcleos de giga hertz de processamento e terabytes de armazenamento; os dispositivos móveis potentes e versáteis para a construção de aplicações personalizadas – *smartphones* e *tablets* –, para além da comunicação por voz e dados através de uma infraestrutura sem fio (rede 3G, por exemplo) de longo alcance, constituem opções para a aquisição de imagens e processamento de dados por razões de custo e portabilidade (AKCA; GRUEN, 2009); os micros sensores eletromecânicos (MEMS – *micro electro-mechanical system*) de tamanho, peso, custo e consumo de energia reduzidos para navegação, sem ou com integração aos

receptores GNSS. A combinação destas tecnologias tornará possível a aquisição e o processamento em tempo real das imagens obtidas por câmeras de dispositivos móveis.

Uma característica das análises que se baseiam em imagens é a temporalidade. As imagens são repositórios de informações múltiplas que se acumulam e facilitam a análise evolutiva do tema de interesse. As imagens terrestres georreferenciadas oferecem esta possibilidade. Ruas, rodovias, ferrovias, áreas de parques, praças, praias, enfim, quaisquer espaços de interesse público aos quais se possa chegar e transitar com uma unidade móvel de levantamento integrado, são passíveis de mapeamento pontual ou momentâneo tanto quanto o acompanhamento do processo histórico de ocupação e desenvolvimento. Da mesma forma, o interior dos edifícios pode ser explorado para fins específicos.

À medida que a capacidade de armazenamento e processamento de dados aumenta, também cresce a possibilidade de montar sistemas com redundância de sensores (COLOMINA, 2004; WAEGLI et al., 2008). Pode-se imaginar um arranjo modular de um receptor e antena GNSS, uma IMU e uma câmera de vídeo com opção de aquisição de imagens estáticas. Dois módulos possibilitam a obtenção de imagens estereoscópicas ou com capacidade de determinação de coordenadas tridimensionais. Com três módulos, há redundância de pares estereoscópicos e superabundância na determinação das coordenadas tridimensionais de pontos de interesse. Tais arranjos podem ser de alto e baixo custo. O aparecimento de sensores em tamanhos menores, com baixo consumo de energia e de baixo custo vem desafiando a comunidade científica da área a investigar soluções que correspondam ou se aproximem das fornecidas pelos sistemas de alto custo e desempenho. A relação de preços é da ordem de 1:10 a 1:20. Com os custos dos sistemas LIDAR e RADAR menores, a integração redundante de multi-sensores vai ser mais diversificada.

4 METODOLOGIA

O georreferenciamento direto é fator primordial para a orientação total das imagens digitais. Os sistemas referenciais da câmera e do sensor LIDAR devem ser completamente orientados (posição da origem e atitude dos eixos coordenados) em relação a um SRE. Em áreas abertas com ampla visibilidade do céu, os sinais dos satélites alcançam as antenas dos receptores que ininterruptamente (1 Hz) registram as coordenadas tridimensionais geocêntricas das antenas. Em ambientes urbanos ocorre o fenômeno do multicaminhamento, que deteriora a qualidade da estimativa das coordenadas.

A solução encontrada foi a inserção da tecnologia de navegação inercial no sistema. O sistema fundamental da navegação inercial é formado por três equações diferenciais: a derivada primeira da posição em relação ao tempo (e.r.a.t.) igualada à velocidade; a derivada primeira da velocidade e.r.a.t. igualada a uma expressão da força

específica e da variação da velocidade angular; derivada primeira da matriz de rotação do corpo rígido em relação ao CNTF (sistema referencial Centrado Na Terra Fixa, ou *Earth Centered, Earth Fixed* – ECEF), considerando as variações da velocidade angular (SCHWARZ; WEI, 1995).

A solução numérica é o Filtro de Kalman (FK) que integra os dados do GNSS e inerciais em uma única solução (predição, filtragem e suavização) para cada intervalo de tempo, resultando no terno PVA (posição, velocidade e atitude). Esta solução pode ser do tipo fraca (*loosely*) ou fortemente (*tightly*) acoplada, conforme as observações sejam processadas em separado ou em conjunto, respectivamente, no filtro (LIMA, 2005).

Ao mapeamento bastam P e A em uma solução pós-processada, e esta pode ser dada pelo FK também. Há variações do tipo estendido (FKE – Filtro de Kalman Estendido) que inclui equações diferenciais dos parâmetros de calibração dos sensores inerciais (acelerômetros e giroscópios): tendência (*bias*), deriva (*drift*), fator de escala (linear e não-linear), mal alinhamento dos eixos e ruídos (SANTANA, 2011).

A integração dos sensores requer sincronização, isto é, que as medidas tenham a mesma base de tempo. A solução integrada exige que os sensores tenham os seus respectivos centros referenciados a um mesmo sistema referencial, o que pode ser expresso por vetores de distância entre eles. Colomina; Pares (2012), entre outros autores, apresentam mais detalhes da metodologia.

5 TENDÊNCIAS E EXPECTATIVAS

Há uma expectativa de que a melhora operacional do GLONASS (acrônimo russo de significado idêntico a GNSS) e do início de operação do Galileo, em conjunto com o já consagrado GPS, reunidos na sigla GNSS, possam resolver ou minorar os efeitos do multicaminhamento. Por outro lado, cresce o interesse dos pesquisadores nos métodos de navegação baseados nos sistemas inerciais integrados aos sensores de visão ou de imagem (RANDENIYA et al., 2008; ROUZAUD; SKALLOUD, 2011). Há também as propostas mais radicais de navegação unicamente por imagens (GIACHETTI et al., 1998; SILVA et al., 2007; VETH, 2011). O intuito não é de excluir ou competir com os métodos de navegação inercial e por satélites. A intenção é ampliar os métodos de navegação e posicionamento de plataformas e sensores.

Isso abrirá caminho para uma mudança de paradigma: do mapeamento móvel para a modelagem 3D móvel (GREJNER-BRZEZINSKA, 2004). Seja no domínio do mapeamento móvel ou na modelagem 3D móvel, é fundamental que o processo de extração, classificação e reconhecimento de feições de interesse seja automatizado a um nível tal que tenda a ser considerado semi-autônomo. O volume de dados geométricos, pictóricos e semânticos é tão grande que exigirá um sistema com alto nível de automação das

tarefas e decisão interativa compartilhada para a construção de modelos tridimensionais urbanos e rurais.

O aumento da capacidade computacional acarreta a diminuição relativa dos custos. Da mesma forma, os sensores como câmeras, IMU/MEMS, receptores de satélites, LIDAR, RADAR, entre outros, têm suas capacidades resolutivas aumentadas e o custo relativo diminuído. Tal feito enseja a possibilidade de construir sistemas robustos fundamentados na redundância de sensores, de modo que a ocorrência de falha é minimizada ou mesmo eliminada. A hipótese neste caso é que sempre haverá uma solução do tipo PVA estimada pelo sistema de navegação integrado por sensores de dados externos (satélites) e internos (inerçiais e de imagens). O desafio é fazer com que estes sistemas operem sincronizadamente e produzam informação geográfica em níveis de precisão decimétrica ou centimétrica.

A integração de dispositivos IMU/MEMS com GPS e câmeras pode ser feita por microcontroladores (figura 6), como a plataforma Arduino (SCHMIDT, 2011), que pode ser explorada por usuários sem conhecimentos profundos em eletrônica. Entretanto, a modelagem matemática e algorítmica continua a requerer que a solução PVA seja estimada, filtrada e suavizada.

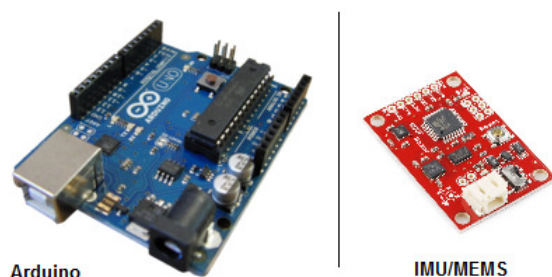


Figura 6 – Plataforma de prototipagem eletrônica *open-source* Arduino (esquerda) e placa com sensores inerçiais (direita).

6 CONCLUSÕES

O processo do mapeamento móvel envolve, como macro etapas, a captura, o processamento e o armazenamento de grandes volumes de dados. Observa-se a evolução de um conjunto mínimo de sensores (GPS-INS-câmeras) a um conjunto superabundante de sensores (GNSS-INS-câmeras-lidar). A tecnologia computacional oferece as condições de processamento e análise, seja em tempo real ou pós-processada. A solução é integrada para prover redundância e contemplar cenários específicos e soluções inovativas.

Embora sejam instrumentos de propósito geral, há uma expectativa de que os dispositivos móveis sejam direcionados também para aplicações específicas. Sejam elas nas ruas, rodovias e ferrovias, sejam no interior de edifícios ou espaços de interesse público, as aplicações dos dispositivos móveis contribuirão para a disseminação da tecnologia de mapeamento móvel e a produção da informação georreferenciada.

REFERÊNCIAS

AKCA, D.; GRUEN, A. Comparative geometric and radiometric evaluation of mobile phone and still video cameras. *The Photogrammetric Record*, v. 24, n. 127, p. 217-245. 2009.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. MCPSE – **Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico**. Brasília, 2009. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/aren2009367_2.pdf>. Acesso em fev. de 2012.

BARBOSA, R.L. et al. Velocity estimation of a mobile mapping vehicle using filtered monocular optical flow. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MOBILE MAPPING TECHNOLOGY, 5, 2007, Padua, Itália. **Proceedings...** Padua: [s.n.], [2007]. 1 CD-ROM.

BOSSLER, J. et al. GPS and GIS Map the Nation's Highways. *Geo Info Systems*, v. 1, n. 3, p. 27-37, 1991.

BOSSLER, J. D; TOTH, C. Feature positioning accuracy in mobile mapping: results obtained by the GPS Van. INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, ISPRS, v. 31, part B4, p. 139-142, 1996.

BRASIL. Ministério dos Transportes e Ministério da Justiça. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes e Departamento de Polícia Rodoviária Federal. **Acidentes por quilômetro (resumido) – 01/01/2010 a 30/06/2010**. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br>>. Acesso: 12 out. 2011.

BRASIL. _____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Produto 11 – Concepção do sistema de informação de segurança viária**. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br>>. 2009. Acesso: 20 ago. 2011.

COLOMINA, I. et al. Redundant imus for precise trajectory determination. INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, ISPRS, 20, 2004, Istanbul, Turkey. vol. 34, Part B.

COLOMINA, I.; PARES, E. **Sensor orientation: precise trajectory and attitude determination with INS**. Institute of Geomatics. Generalitat de Catalunya. Universitat Politècnica de Catalunya. 2012. 458 p.

ELLUM, C. M.; EL-SHEIMY, N. Land-based mobile mapping systems. *Survey Review*, v.36, n.283, p.323-339. 2002.

EL-SHEIMY, N. Mobile multi-sensor systems research group. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MOBILE MAPPING TECHNOLOGY, 6. Tutorial. 2009, Presidente Prudente, SP, Brazil.

FANG, L. et al. Image mosaic in Imms for urban management. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MOBILE MAPPING TECHNOLOGY, 6, 2009, Presidente Prudente, SP, Brazil.

- FERRAZ, C.; RAIÁ, A.; BEZERRA, B. **Segurança no trânsito**. Ed. São Francisco, São Carlos-SP, 2008.
- GIACHETTI; CAMPANI; TORRE. The use of optical flow for road navigation. **IEEE Transactions on robotics and automation**. v. 14, n. 1, 1998.
- GONÇALVES, J. A.; MADEIRA, S.; BASTOS, L. Application of a low cost mobile mapping system to coastal monitoring. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MOBILE MAPPING TECHNOLOGY, 6, 2009, Presidente Prudente, Brazil.
- GREJNER-BRZEZINSKA, D. A. et al. From mobile mapping to telegeoinformatics: paradigm shift in geospatial data acquisition, processing, and management. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 70, n. 2, p. 197–210, 2004.
- KARAMANOU, A. et al. Precise estimation of road horizontal and vertical geometric features using mobile mapping techniques. **Boletim de Ciências Geodésicas**, 15, mar. 2010. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/bcg/article/view/16998>. Acesso em: 10 mai. 2012.
- KUKKO, A. et al. Experiences of mobile mapping in environmental monitoring. **IEEEExplore**. DOI: 10.1109/UPINLBS.2010.5653572. 2010.
- LIMA, S. R. S. Integração GPS/INS utilizando sensores inerciais baseados em MEMS. 2005. 158p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- NOVAK, K. Mobile mapping technology for GIS data collection. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 61, n.5, p.493-501, 1995.
- OLIVEIRA, E. B. et al. Interseção Fotogramétrica em um Banco de Imagens Georreferenciadas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 55, p. 62 - 71, 2003.
- PEREIRA, A. A. C. et al. Quantificação de irregularidades no pavimento de ruas e rodovias utilizando a unidade móvel de mapeamento digital. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3. Recife. 2010.
- RANDENIYA et al. Calibration of inertial and vision systems as a prelude to multi-sensor fusion. **Science Direct**, part C, p. 255-74, 2008.
- ROUZAUD, D.; SKALOUD, J. Rigorous integration of inertial navigation with optical sensors by dynamic networks. **ION. Journal of navigation: alternative methods of navigation**, v. 58, n. 2, p.141-152, 2011.
- SANTANA, D. D. S. **Navegação terrestre usando unidade de medição inercial de baixo desempenho e fusão sensorial com filtro de Kalman adaptativo suavizado**. 2011. 230p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- SANTOS, A. R. S. et al. **Utilização do sistema móvel de mapeamento digital para fins de mapeamento e cadastro de postes**. 2003. Trabalho de graduação (Engenharia Cartográfica). Universidade Estadual Paulista, 2003. 1 CD-ROM.
- SCHALL, G. et al. A survey on augmented maps and environments: approaches, interactions and applications. In: LI et al. (eds.) **Advances in web-based GIS, mapping services and applications**. s.l. CRC Press. 2010.
- SCHMIDT, M. **Arduino: a quick-start guide**. Dallas, TX: Pragmatic Bookshelf. 2011. 275p.
- SCHWARZ; WEI. **Inertial geodesy and INS/GPS integration**. Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, 1995.
- SHAO, H. et al. Application of land-based mobile mapping system in wenchuan earthquake. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MOBILE MAPPING TECHNOLOGY, 6, 2009, Presidente Prudente, Brazil.
- SILVA, J. F. C. et al. Photogrammetric bridging using filtered monocular optical flow. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MOBILE MAPPING TECHNOLOGY, 5, 2007, Padua, Itália. **Proceedings...** Padua: [s.n.], [2007]. 1 CD-ROM.
- SUN, H. et al. Surrounding traffics detection for terrestrial mobile mapping data quality evaluation. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MOBILE MAPPING TECHNOLOGY, 6. 2009, Presidente Prudente, Brazil.
- VETH, M. J. Navigation using images: a survey of techniques. **ION. Journal of navigation: alternative methods of navigation**, v. 58, n. 2, p.127-139, 2011.
- WAEGLI et al. Redundant MEMS-IMU integrated with GPS for performance assessment in sport. **IEEE/ION PLANS**, Monterey, California, 2008.
- WANG, C. et al. ARVEE: Automatic road geometry extraction system for mobile mapping. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MOBILE MAPPING TECHNOLOGY, 5, 2007, Padua, Itália. **Proceedings...** Padua: [s.n.], [2007]. 1 CD-ROM.
- WORK, D. B. et al. An ensemble Kalman filtering approach to highway traffic estimation using GPS enabled mobile device. In: IEEE CONFERENCE ON DECISION AND CONTROL, 47, 2008, Cancun, Mexico. **Proceedings...** p. 5062-8.
- WU, S. et al. L-mms used in railway applications. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MOBILE MAPPING TECHNOLOGY, 6, 2009, Presidente Prudente, SP, Brazil.