

## Resumo

A tese de Doutorado intitulada "High Precision Navigation Integrating Satellite Information – GPS - and Inertial System Data" foca como ponto principal o desenvolvimento de algoritmos e metodologias de processamento das medidas recolhidas por receptores GPS (Global Positioning System) de modo a se obter, em, tempo-real e em modo diferencial, uma elevada precisão nas posições absolutas daí provenientes, considerando apenas um conjunto de amostras de alguns segundos (tipicamente entre 3 a 10 segundos). Estes algoritmos centram-se na determinação dos valores inteiros ambíguos que estão associados às medidas de fase da portadora de L1 (denominados Ambiguidades de Fase de L1), sendo este um processo não trivial, principalmente quando se considera um curto conjunto de dados em que a variação da geometria dos satélites observados é imperceptível. A metodologia desenvolvida considera as observações da segunda portadora L2 para melhoria da eficiência do processamento. Nesta tese apresentam-se os princípios de funcionamento dos sistemas de navegação considerados (GPS e sensores inerciais) de modo a facilitar o acompanhamento da descrição dos algoritmos e procedimentos desenvolvidos.

Este trabalho fez parte do desenvolvimento e implementação de um sistema de navegação baseado em receptores GPS e num sensor inercial IMU (Inertial Measurement Unit) de baixo custo e composto por três pares acelerómetro-giroscópio dispostos em três eixos ortogonais. Este sistema de navegação GPS/IMU foi implementado numa aeronave da Força Aérea Portuguesa, tendo sido colocadas três antenas GPS na sua estrutura (uma por cima do cockpit, uma outra na parte traseira do corpo central da aeronave, e uma terceira na asa direita). O objectivo final deste sistema GPS/IMU era a determinação da posição absoluta de uma das antenas, e a determinação da atitude da aeronave (que consiste na estimação dos ângulos de rotação roll, pitch e yaw). Estas grandezas são essenciais para as aplicações de detecção remota aéreas, tais como gravimetria, altimetria, fotogrametria, entre outras. É necessário conhecer as posições e orientações destes sensores para se poder obter resultados úteis das suas medidas.

Atendendo ao comportamento complementar dos dois sistemas de navegação (GPS e IMU), foi desenvolvida uma metodologia de processamento integrado dos seus dados por forma a se obter resultados de elevada precisão em posicionamento absoluto e em atitude, sendo estes resultados equiparáveis aos de sistemas de navegação substancialmente mais caros que utilizam sistemas inerciais INS (Inertial Navigation Systems) de elevado rigor, eventualmente com plataformas estabilizadoras. Sendo o IMU um sensor de dead-reckoning, os resultados da integração temporal das suas medidas apresentam desvios e derivas consideráveis que devem ser estimados da melhor forma. As posições absolutas determinadas por GPS, obtidas em modo diferencial pela metodologia acima mencionada, servem para estimar alguns desses parâmetros, mas outros são pouco sensíveis a essas grandezas, necessitando de outro processo para se proceder à sua estimação. Este é o caso de ângulos de atitude como o yaw que, principalmente numa aeronave, pouca relação têm com a posição absoluta ou com a variação desta (devido, principalmente, à acção do vento). Para a resolução deste problema, foram desenvolvidos, no âmbito deste doutoramento, algoritmos para a

determinação com grande rigor do vector tridimensional entre duas antenas da aeronave. Este procedimento consiste novamente em técnicas de fixação das ambiguidades das medidas de fase da portadora L1, complementadas com as medidas da portadora L2, desenvolvidas especificamente para aplicações de tempo-real. Com a disposição apropriada das antenas, estes vectores traduzem uma estimativa não enviesada da atitude da aeronave. De referir que estes algoritmos não consideram a utilização dos dados de um receptor GPS estático de referência (localizado num ponto no solo). Este facto torna este procedimento independente do sistema de comunicações entre avião e estação terrestre, fornecendo sempre estimativas não enviesadas da atitude em cada instante de amostragem, mesmo quando não é possível estabelecer comunicação com a estação terrestre.

Uma outra análise considerada nesta tese é a possibilidade de utilização das medidas dadas pelo IMU para ajudar o processo de fixação de ambiguidades das observações GPS. Concluiu-se que, para o caso de IMUs com as características idênticas às do IMU utilizado, poucos seriam os benefícios práticos dessa abordagem. No entanto, em termos de aumento de robustez das soluções de navegação provenientes do processamento GPS, que é uma característica muito importante, conclui-se que a complementaridade dos dois sistemas (GPS e IMU) é muito útil uma vez que as variações suaves das medidas do IMU podem servir para detectar saltos esporádicos nas observações GPS.

Nesta tese são apresentados vários exemplos de aplicação deste sistema e das metodologias desenvolvidas. Salientam-se duas campanhas de teste do sistema GPS/IMU, utilizando uma aeronave da Força Aérea Portuguesa, efectuadas no arquipélago dos Açores e na zona da Estremadura. A primeira realizou-se integrada com uma campanha de gravimetria aérea (projecto europeu AGMASCO - Airborne Geoid MAPPING System for Coastal Oceanography), e a segunda contemplou um equipamento para fotografia aérea, sendo este utilizado como sistema independente para avaliação do rigor da solução de atitude obtida. Nesta última campanha, o sistema GPS/IMU foi utilizado em tempo-real, fornecendo aos pilotos, em cada instante, o percurso (pré-definido) a seguir, incluindo as fases de aproximação à pista e aterragem. Apresentam-se nesta tese resultados obtidos em ambas as campanhas que ilustram os bons resultados obtidos pelo sistema de navegação GPS/IMU desenvolvido.

Uma vez que as técnicas desenvolvidas neste trabalho não são restringidas por pormenores específicos do veículo em consideração, apresentam-se exemplos e resultados de aplicações destas metodologias ao caso de veículos terrestres. Assim, é referida uma implementação do sistema GPS/IMU num veículo todo-o-terreno para geo-referenciação de infra-estruturas urbanas e mapeamento de redes viárias (uma aplicação de Mobile Mapping). Apresenta-se, também, a aplicação dos métodos desenvolvidos para processamento das observações GPS ao estudo da erosão/sedimentação de zonas costeiras arenosas. A aplicabilidade destas metodologias a outros casos práticos é também focada, salientando-se a possibilidade de estas serem integradas em componentes de um sistema LAAS (Local Area Augmentation System).