

8 Conclusões

O principal resultado deste trabalho foi o desenvolvimento detalhado do equacionamento necessário para a aplicação do filtro de Kalman na fusão do GPS com o INS e sua validação através de simulações e experimentos. Mesmo que o filtro seja modelado de forma diferente, muito do equacionamento desenvolvido nesta dissertação se mantém. Foram propostas duas implementações distintas de filtros a clássica e a com orientação. Através de simulações e experimentos foi demonstrado que para sensores inércias de baixa qualidade, a utilização da informação de orientação medida por bússolas no processo de filtragem, resulta em uma melhor precisão na navegação. O resultado da simulação e experimental mostra também que a fusão de ambos os sensores através do filtro de Kalman resulta em um posicionamento mais preciso do que quando utilizando cada sensor isoladamente. Resultado coerente com os outros trabalhos existentes sobre o tema. A performance do filtro não pode ser comparada diretamente a outros trabalhos presentes na literatura já que a mesma varia devido a diversos fatores, como o sensor utilizado e o meio ambiente. Observa-se nos resultados que o erro durante a falha do GPS cresce mais rapidamente nesta dissertação do que em outros trabalhos presentes na literatura, este fato está diretamente relacionado a qualidade do sensor inercial utilizado e se a modelagem do filtro é direcionada para melhorar o resultado da navegação durante estas falhas.

O estudo dos diversos sensores utilizados para localização e de seus respectivos erros, feito no capítulo 2, mostra o porquê da escolha da fusão do GPS e do INS como forma de sensoriamento para localização em ambientes externos. O sensor inercial, por não depender de fatores externos, apresenta a solução mais robusta em um dado instante ao problema de navegação. A posição, velocidade e orientação do veículo podem ser sempre calculadas integrando as medidas do sensor inercial dado um conjunto de condições iniciais. Entretanto, o erro desta solução cresce ilimitadamente com o tempo, já que os erros dos acelerômetros e giroscópios são integrados progressivamente. O GPS fornece a velocidade e posição do veículo com relação a

coordenadas globais, apresentando uma solução ao problema de navegação que não depende de condições iniciais. O erro desta solução é sempre limitado, entretanto a solução não está sempre disponível por depender da visibilidade do receptor a no mínimo quatro satélites. Logo a fusão do GPS com o sensor inercial gera uma solução ao problema de navegação onde não há necessidade de condições iniciais dadas por um agente externo, o erro está limitado e a solução está sempre disponível.

O GPS mede a posição em termos de latitude, longitude e altitude com relação ao modelo da terra WSG-84, este modelo é elíptico e não inercial. Logo para se realizar a fusão dos sensores, a posição dada pelo sensor inercial precisa ser representada também sob o modelo WSG-84, equacionado no capítulo 4. Tendo ambos os sensores sob o mesmo modelo e utilizando os fundamentos e as equações do filtro de Kalman, apresentados no capítulo 3, modela-se o problema proposto em termos de espaço de estado. Este é definido como sendo os erros na navegação inercial, logo para a modelagem é necessário a compreensão das fontes de erros, capítulo 2, e de sua propagação durante a navegação, capítulo 4.

Os ruídos do filtro foram modelados como constantes, entretanto a variância do INS varia com a dinâmica do sistema, logo uma modelagem que leve em consideração essas variações tornaria o filtro mais preciso. A eficiência do filtro é dada em parte pelo ajuste dos ruídos, este poderia ser feito usando técnicas de inteligência artificial, como *expectation maximization*, o que levaria os ruídos mais próximo do ponto ótimo no caso de ruídos constantes e forneceria inteligência e adaptação para o caso em que o mesmo varie. O filtro proposto não explora o problema de inicialização, onde o sistema precisa ficar estático para encontrar as condições iniciais de posição e orientação, considerar o mesmo levaria a uma melhora da filtragem. A dinâmica do sistema pode ser também explorada para particionar o filtro, tornando o mais eficiente. Outros sensores podem ser acrescentados na fusão, como um barômetro, velocímetro e uma bússola, aumentando assim a informação que o filtro possui sobre os estados. O filtro pode ser redesenhado para a fusão acoplada do GPS com o INS, a qual fornece um melhor resultado, pois possibilita o funcionamento mesmo quando menos de quatro satélites estiverem visíveis.