



Navegação, Cronometria e Posicionamento Precisos Sem o Sistema de Posicionamento Global

MAJ KENNETH A. FISHER, PhD, USAF
DR. JOHN F. RAQUET*

O SISTEMA DE Posicionamento Global [*Global Positioning System – GPS*] NAVSTAR revolucionou a guerra moderna. Desde 2005 quase toda munição de precisão (guiada) norte-americana usa o *GPS* para obter dados de alvos.¹ Com isso, os sistemas de lançamento de armas possuem a capacidade de atingir alvos inimigos com precisão, com pouco ou sem qualquer dano colateral. Além disso, quase todos os recursos militares, incluindo aeronaves, tanques, navios, mísseis, munição para morteiros, caixas de carga e soldados desembarcados contam com a determinação da posição exata que o *GPS* oferece.

Para os usuários militares do sistema, surgem duas limitações principais. A primeira é que o sistema depende de linha de visão, isto é, os satélites devem estar dentro do campo de “visão” da antena do receptor para que possam captar os sinais. Essa restrição é mais acentuada em ambientes fechados (inclusive áreas subterrâneas) e áreas urbanas, tornando difícil a navegação para as forças terrestres, aeronaves pilotadas remotamente e armamento de precisão. Os arranha-céus em cidades bloqueiam a visão dos satélites e criam repercussão de sinais ou aberturas múltiplas, confundindo os receptores de *GPS*. Em ambientes fechados, os sinais de *GPS* podem passar, mas de forma bem atenuada. O resul-

tado é que as forças terrestres que operam sob cobertura encontram dificuldade em obter uma posição de *GPS* válida.

A segunda limitação é que os adversários podem facilmente cancelar os sinais do sistema com simples táticas e equipamento disponível. A interferência [*jamming*] resulta quando o adversário emite sinais que se intrometem na sinalização *GPS* de relativamente baixa potência. Alega-se que a China implantou dispositivos de interferência em uma frota de caminhonetes. Além disso diversas páginas da *internet* até mesmo oferecem pequenos dispositivos a baixo custo que interrompem o rastreamento de veículos via *GPS*.²

Finalmente, um cenário mais grave de negação, mas muito menos provável, tem a ver com o uso de tecnologia antissatélite por outras nações com o fim de desativar ou destruir um ou mais satélites do agrupamento *GPS*. Três nações já contam com essa tecnologia: os Estados Unidos, a Rússia e a China. Essa última demonstrou sua capacidade antissatélite com surpreendente ataque a um de seus antigos satélites meteorológicos em 2007.³

Por qualquer que seja o motivo, quando os recursos *GPS* ficam degradados ou indisponíveis, as Forças Armadas necessitam de alternativa que ofereça precisão e utilidade comparáveis. Os pesquisadores do Centro Tecnológico de Navegação Avançada [*Advanced Navigation*

*O Major Fisher é Catedrático Assistente de Engenharia Elétrica no Instituto de Tecnologia da Força Aérea [*Air Force Institute of Technology – AFIT*], e Vice-Diretor do Centro Tecnológico de Navegação Avançada [*Advanced Navigation Technology – ANT*], um centro de excelência do *AFIT*. O Dr. Raquet é Catedrático Adjunto de Engenharia Elétrica no *AFIT* e é o Diretor do Centro *ANT*.

Technology – ANT] no Instituto Tecnológico da Força Aérea [*Air Force Institute of Technology – AFIT*] tentam oferecer precisão semelhante à do *GPS*. O Centro *ANT* pesquisa métodos de cálculo de posição com o uso de radiofarol, sinais manufaturados ou oportunos [*signals of opportunity – SoOP*] que ocorrem naturalmente (inclusive campos magnéticos) e aqueles destinados a melhorar a visão. No futuro, uma boa alternativa ao *GPS* provavelmente empregará uma combinação dessas técnicas. A revisão dos conceitos básicos de navegação ajudará a colocar em perspectiva essas abordagens alternativas.

Navegação: Perspectiva Geral

O que é navegação?

Nos primórdios da história, a humanidade estava, acima de tudo, interessada em navegação localizada. Isso quer dizer, fixar uma posição na vizinhança de áreas habitadas. Esse tipo de navegação, em parte, identifica os marcos históricos e faz uso de locais conhecidos para determinar a posição. Mais tarde, especialmente quando a navegação aumentou a mobilidade, os viajantes necessitaram de métodos para navegação global.⁴ Os antigos marinheiros registravam a direção e a distância percorrida em cada etapa da viagem, técnica denominada *navegação estimada* [*dead reckoning*].⁵ Ainda com os avanços dramáticos em navegação, muitos métodos modernos, como o de navegação de inércia [*inertial navigation system – INS*], continuam a basear-se em navegação estimada (sob o ponto de vista de que a partida é de dada posição, rastreando as mudanças de posição, velocidade, direção e / ou distância ao longo do caminho).

Tendências

Embora o *INS* atual seja bastante preciso para pequenas distâncias, a navegação e a coordenação exatas em vastas regiões requerem dados de posição extremamente rigorosos, daí então a necessidade do *GPS*. Essa tecnologia veio a ser a pedra angular da presente navegação. Seu aperfeiçoamento ao longo dos últi-

mos 20-30 anos oferece aos usuários a habilidade de alcançar o destino dentro de poucos metros ou até mesmo centímetros de precisão, além de sincronizar os sistemas operacionais e o equipamento com eficiência sem precedentes. Para as Forças Armadas, tal eficiência é uma vantagem operacional, devido a economia de força, massa, sem mencionar o elemento surpresa. O Departamento de Defesa e o comércio utilizam cada vez mais os sistemas em que múltiplos veículos interdependentes operam em conjunto para atingir meta ou missão (quase sempre automaticamente)—objetivo que quase sempre exige navegação confiável. Na verdade, uma série de sistemas requer *GPS* em suas operações (não só navegação), confiando na disponibilidade do sistema. Além disso, o aperfeiçoamento da precisão do *GPS* (tanto em equipamento, quanto em algoritmos empregados, tal como o *GPS* diferencial) remove a maioria dos erros encontrados em seus sinais. Agora é rotina. Os usuários conseguem determinar o posicionamento com a precisão de até centímetros para determinadas aplicações, como pouso de precisão e, em futuro próximo, o reabastecimento automatizado de aeronaves militares em voo. À medida que cresce o número de “clientes” em potencial, o mercado reage, oferecendo baixo custo e dispositivos de tamanho reduzido para satisfazer a demanda. A presença do *GPS* aumentou a tendência dos usuários (especialmente nas Forças Armadas) a rastrear tudo – todos os militares em operações de combate, todo o equipamento do campo de pouso, todos os veículos e, assim por diante. Antigamente era suficiente rastrear os diferentes tipos de equipamento principais, tais como aeronaves, devido ao tamanho e custo dos aparelhos de navegação tradicionais e dos primeiros receptores *GPS*. Agora, literalmente, todo soldado porta um dispositivo *GPS* em sua mochila.

Com o aumento da dependência comercial e militar em *GPS*, também aumenta a vulnerabilidade à interrupção ou nulificação do sistema. Portanto, os usuários necessitam de equipamento sobressalente com capacidade de navegação e sincronização para situações em que o *GPS* não funciona. Recente-

mente, o cientista-chefe da Força Aérea identificou a capacidade de “[*Position, Navigation and Timing – PNT*] posição, navegação e sincronia em ambientes sem acesso a *GPS*” entre as 12 primeiras áreas de pesquisa prioritária.⁶ Os pesquisadores do Centro ANT enfocam-se exatamente nesse problema, considerando abordagens de navegação que não dependem em *GPS*. Já que o sistema oferece *PNT* preciso à maioria das situações, a alternativa adequada exigiria a combinação de dois ou mais sensores e o uso de algoritmo de navegação. O restante deste artigo explica os conceitos gerais implícitos aos algoritmos de navegação e à integração de sensores. Em seguida, descreve quatro técnicas distintas de navegação sem *GPS* sob pesquisa no *ANT*.

Os Algoritmos de Navegação e a Integração de Sensores

Um algoritmo de navegação combina dados convenientemente expressos no ciclo *prever-observar-comparar* (fig.1). A “Situação da Navegação” ao lado inferior da figura, à direita, representa a condição atual de navegação do usuário ou todas as informações sobre a posição do mesmo, como a velocidade, e assim por diante, bem como estimativa da qualidade dos dados. Pode-se imaginar tal condição como a melhor hipótese do sistema refe-

rente à posição do usuário e cálculo de precisão de tal hipótese. Como a caixa “Sensor” indica, o sistema mede ou observa os dados que oferecem certa percepção sobre a situação do usuário. No caso do *GPS*, o sistema observa a distância de dado satélite. O algoritmo também emprega um modelo da realidade, indicado na caixa “Modelo do Mundo Real”. Para o *GPS*, este modelo consistiria dos locais (órbitas) dos satélites *GPS*.

Na fase *prever*, o sistema utiliza o modelo do mundo real e a condição da navegação para prever o que o sistema antecipa; na figura, a caixa “Algoritmo de Predição”, ilustra o processo. Durante a fase *observar*, o sistema recebe, do *mundo real*, a medida corrompida por ruído. Durante a fase *comparar*, o algoritmo compara a medida predita com a real e usa as discrepâncias para aperfeiçoar a navegação e, possivelmente, o modelo do mundo.

Considere o seguinte exemplo de navegação simples: um usuário tenta determinar sua posição em relação a uma parede. Prevê, a olhometro, que é cerca de 9,100m (nesse momento, a situação de navegação é de 9,100m com elevado grau de incerteza). Em seguida, com aparelho de telemetria a laser, preciso, o usuário mede ou observa que a distância é de 9,50976m. Em seguida, compara a predição com a observação, rapidamente descartando a primeira e confiando na última, pois o usu-

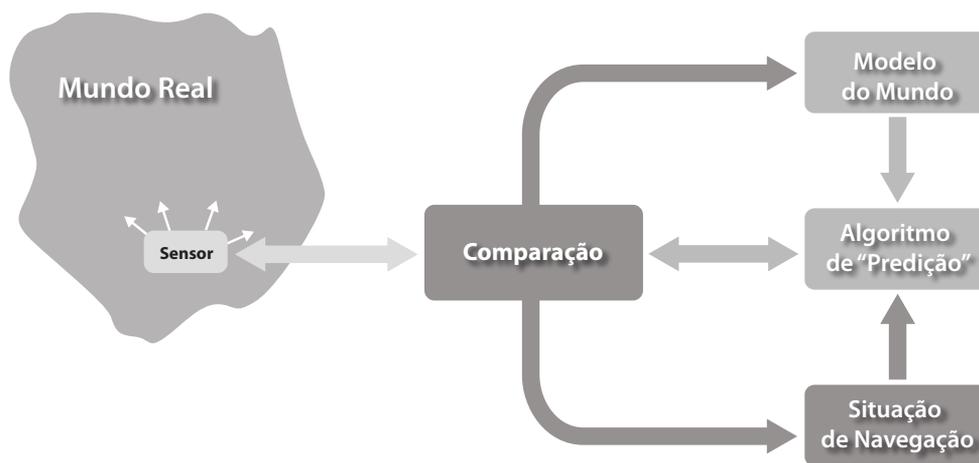


Figura 1. Algoritmo de navegação teórico

ário confia na observação a laser muito mais do que na situação de navegação atual, ou seja, a olhometro.

Os empregos mais interessantes combinam a predição e a observação, algo que acontece quando existe grau de confiança comparável entre a predição e a observação, apesar de divergência. Para lidar com essa combinação, as aplicações típicas de *INS* e *GPS* usam o filtro de Kalman para obter o ciclo predizer-observar-comparar.⁷ O *INS* calcula a posição do usuário, acompanhando seus movimentos. A seguir, o receptor *GPS* “observa” a posição do usuário, empregando as medidas de satélites do sistema. Finalmente, o filtro de Kalman compara o cálculo do *INS* à observação do *GPS*, gerando uma solução mista baseada na qualidade relativa entre os dois resultados.

Os sistemas típicos de navegação atuais combinam o *INS* com as atualizações do *GPS* para produzir uma firme estimativa de navegação. “Firme”, porque os dois insumos complementam-se um ao outro. O *INS* fornece, em essência, uma estimativa precisa e contínua do movimento do veículo, mas acumula erros ao longo do tempo. Por exemplo, mesmo o *INS* mais preciso inicializado bem próximo à verdadeira posição, acabará acumulando erros que tornam inútil o cálculo de posição. Por outro lado, as atualizações do *GPS* ocorrem com menor frequência, mas os erros não se acumulam. Usados ao mesmo tempo, o *INS* fornece um cálculo preciso de navegação a curto prazo, enquanto o *GPS* oferece uma solução precisa a longo prazo. Em outras palavras, o sensor *GPS* restringe o acúmulo de erros do *INS*.

Quatro Técnicas Promissoras de Posicionamento, Navegação e Sincronia em Ambientes sem Acesso a *GPS*

Navegação a Radiofarol

O radiofarol (i.e., fontes de sinais artificiais transmitidos para fins de navegação que complementam ou substituem os sinais de *GPS*)

neutralizariam os efeitos de interferência intencional ou de ambientes com sinais quase imperceptíveis. A Agência de Projetos de Pesquisa Avançada da Defesa [*Defense Advanced Research Projects Agency – DARPA*] estabeleceu um programa para “demonstrar o uso de pseudolites [uma contração do termo “*pseudo-satellite*” utilizada quando se refere a dispositivo que não é satélite, mas que desempenha função normalmente da esfera de satélites. Pequenos transceptores empregados para criar uma alternativa ao *GPS*, local e terrestre] um tipo de transmissor *GPS* de alta potência. Seriam colocados a bordo de aeronaves para transmitir um sinal potente que substitui o do *GPS* e que passa através de interferências, restaurando a navegação *GPS* sobre dado teatro de operações.”⁸ As demonstrações em campo comprovaram que os pseudolites aéreos substituiriam as transmissões via satélite, proporcionando sinais de navegação de boa qualidade para receptores *GPS* militares. Necessitam apenas de modificações em programação dos dispositivos em si.

Outros pesquisadores usam radiofarol para transmitir sinais exclusivos que exigem receptores de navegação projetados especificamente para esses sinais. Uma empresa usa radiofaróis terrestres posicionados em área local para auxiliar o *GPS* ou navegar sem ele.⁹ Esses radiofaróis também podem ser utilizados para localizar a posição de uma pessoa dentro de complexo de minas subterrâneas. Além disso, também seriam úteis para tropas terrestres que operam em locais fechados. Sob o ponto de vista operacional, essa abordagem necessita colocar em campo transmissores de locais terrestres, ou de plataformas aéreas.

A Navegação com o Uso de Sinais Oportunos Artificiais

O *GPS* navega rastreando sinais transmitidos via satélite. A navegação que utiliza *SoOP* baseia-se nesse conceito, com a diferença de que rastreia os sinais transmitidos para outros fins (e.g., rádio *AM* e *FM*, rádio e televisão via satélite, telefonia celular, redes de computadores sem fio e inúmeros sinais de satélite). Os pesquisadores do Centro *ANT*

exploraram sinais de televisão, de rádio AM, áudio digital, vídeo-transmissões e redes sem fio.¹⁰ Dada a grande variedade de *SoOP*, os pesquisadores desenvolveram uma equação matemática para determinar a utilidade de sinais para a navegação.¹¹

A navegação a *SoOP* possui várias vantagens se comparada ao *GPS*. Primeiramente, os *SoOP* são abundantes, garantindo a disponibilidade de sinais para determinar e reduzir erros em posição. Em seguida, a recepção de *SoOP* frequentemente é mais potente do que os sinais de *GPS*.¹² Ao contrário dos sinais de *GPS*, os de estações de rádio *FM* ou de telefonia celular estão disponíveis e podem ser utilizados em ambientes fechados. Finalmente, o usuário não incorre custos de instalação ou despesas operacionais relacionadas. É claro que os receptores móveis, semelhantes aos de *GPS*, exigiriam projeto e fabricação para colocá-los em campo.

No entanto, o uso de *SoOP* para a navegação possui desvantagens. Como o sistema não foi projetado para utilizar os sinais em navegação, o dispositivo de sincronia não foi, necessariamente, interligado ou ajustado. Além disso, pode ser que o usuário não saiba exatamente o que foi transmitido. Para atenuar esses dois problemas, os cenários típicos de navegação com *SoOP* empregam uma base: um receptor em local conhecido próximo ao receptor do usuário. A base permite que o dispositivo do usuário remova características dos *SoOP*, fazendo com que os problemas de sincronia não sejam tão graves. A maioria dos algoritmos também supõe que o transmissor de *SoOP* (e.g., torre de rádio ou roteador sem fio) estará situada em local conhecido, embora existam métodos para determinar tal informação. Os sinais em repercussão ou aberturas múltiplas, fontes predominantes de erro em navegação *SoOP*, são muitas vezes de difícil eliminação.

A combinação de muitos sinais em um só circuito ou canal transmissor [*multiplexing*] via divisão de frequência ortogonal é uma estrutura de sinais particularmente promissora de *SoOP* usada para transmissões áudio/vídeo digitais e muitos dispositivos de rede sem fio. Esses sinais exibem benefícios de navegação

não encontrados em outros, como informação redundante intercalada aos sinais, a partir da qual o usuário pode obter dados de navegação “ouvindo uma conversa por acaso” (i.e., ouvir dado sinal passivamente) sem usar uma base.¹³ Uma pesquisa relacionada inclui tentativas de identificar radiofrequência, por meio de marca exclusiva que a identifica [*fingerprinting*], associando, assim, cada sinal a um transmissor em particular.¹⁴

Há também métodos de navegação a *SoOP* fora daqueles que utilizam dados de sincronia obtidos via rastreamento de *SoOP* (semelhante à navegação via *GPS*). Por exemplo, podemos fazer uso de dados do ângulo de chegada [medida da direção da propagação de irradiação eletromagnética, quando de sua chegada a um receptor], que se obtém, normalmente, pelo uso de múltiplas antenas) para a navegação, bisseccionando múltiplos ângulos de chegada para determinar a posição do receptor por triangulação. Além disso, podemos utilizar a potência de um sinal de *SoOP* recebido [*Received Signal Strength – RSS*] para calcular o alcance de determinado transmissor. O comércio oferece ainda um banco de dados de locais de rede sem fio e transmissão de energia para uso em cálculos de potência do sinal recebido.¹⁵

A Navegação Utilizando a Ocorrência de Sinais Oportunos Naturais

Embora os *SoOP* artificiais ofereçam amplo campo de estudo, os *SoOP* que ocorrem naturalmente também encontram-se à disposição. Normalmente, qualquer fonte que permita distinguir um ponto terrestre de outro é adequada à navegação: a utilidade de dado fenômeno para determinar posição muitas vezes depende da confiabilidade com que podemos medi-lo; com que precisão a medida corresponde à posição do usuário; e, o tamanho, peso e potência do sensor. Inúmeros *SoOP* de ocorrência natural são, em potencial, adequados à navegação, inclusive campos magnéticos, campos gravitacionais e o impacto de relâmpagos. No entanto, a navegação baseada em campos magnéticos continua a ser a mais promissora para empregos militares.

Os campos magnéticos encontram-se em todos os pontos terrestres em diferente intensidade. Além do campo magnético terrestre principal, outros ocorrem em qualquer material condutor, como vergalhões, parede com pernos de aço, canos, fiação, etc. Assim, a intensidade do campo magnético de um ponto específico de determinado corredor de dado edifício, é único. Os pesquisadores do Centro *ANT* testaram a viabilidade deste tipo de intensidade para facilitar os sistemas de navegação em ambientes fechados, comparando inicialmente as medidas obtidas de pequeno magnetômetro (aproximadamente do tamanho de um baralho) a um mapa de campos magnéticos de área fechada, previamente determinado.¹⁶ A seguir, determinaram a posição do usuário, encontrando no mapa o local de maior correlação com as medidas do magnetômetro. Embora os resultados indicassem probabilidade de sucesso, certas áreas exigem maior pesquisa. Primeiramente, o sistema baseou-se em mapa de campos magnéticos predeterminado. Já que não podemos, realisticamente, esperar que os combatentes façam o levantamento de uma área, estamos em fase de pesquisa para elaborar um mapa do campo magnético, à medida que os soldados se deslocam de um a outro ponto. A seguir, os pesquisadores investigam as variações de campo magnético ao longo do tempo e a resistência do algoritmo de navegação em campo magnético para verificar se existem grandes desvios no campo observado, o que pode ocorrer com a adição ou remoção de objetos de metal.

Navegação Assistida por Visão

Esse tipo de navegação usa câmeras para produzir uma alternativa e um sistema altamente complementar para restringir o movimento de inércia. Em vez de calcular diretamente a localização do veículo, os sistemas de visão usam o movimento percebido dos sensores de imagem para auxiliar o *INS*. Por exemplo, vamos supor que uma pessoa gire ao sentar-se em uma cadeira. Fisiologicamente, o sistema vestibular do ouvido detecta a rotação. No entanto, a visão pode auxiliar no cálculo de rota-

ção, observando o movimento de sinais visuais. Do mesmo modo, os sensores visuais podem contribuir a um *INS* e, assim, melhorar a navegação.

Além de melhorar o desempenho da navegação, diversas vantagens acompanham os sistemas de navegação complementados pela visão. Em primeiro lugar, as técnicas visuais via computador são imunes aos ataques que desativam os *GPS*, embora ferramentas baseadas em visão possuam suas próprias limitações, como as causadas pela neblina ou fumaça. Em segundo lugar, à medida que as câmeras e os computadores tornam-se cada vez mais eficientes e menos caros, a visão via computador rapidamente torna-se em possível solução de baixo custo. Em terceiro lugar, a câmera usada para a navegação também pode compilar inteligência. Da mesma forma, a câmera utilizada para coleta de dados secretos também pode prestar-se à navegação. Além disso, podemos integrar os dados às informações de mapeamento da Agência Nacional de Inteligência Geoespacial [*National Geospatial-Intelligence Agency*] ou às de provedores comerciais de imagens, tais como o *Google Maps*.

Devido a complexidade computacional, os algoritmos típicos de auxílio à visão empregam aspectos selecionados de uma imagem e não de toda a imagem. O algoritmo compara os aspectos entre imagens sucessivas para calcular o movimento relativo da plataforma. A qualidade da comparação de aspectos depende da caracterização e identificação dos aspectos em imagens subsequentes. Podemos reduzir ainda mais a complexidade computacional, quando limitamos a análise à pequena porção da imagem. Esses aperfeiçoamentos computacionais permitem utilizar esses tipos de sistema em plataformas relativamente pequenas. Os pesquisadores do Centro *ANT* combinaram um algoritmo de rastreamento de aspectos de imagem mais rápido, porém menos potente, com um *INS* de padrão comercial para alcançar o desempenho em tempo real em pequeno avião remotamente pilotado em ambiente fechado.¹⁷

A distância entre a câmera e dado aspecto (i.e., percepção de profundidade) é uma ca-

racterística fundamental da navegação assistida por imagem. Os pesquisadores do Centro ANT imitaram a visão humana, ao utilizar duas câmeras em navegação stereo-visual [*stereo vision*] e demonstraram os algoritmos em período de tempo quase real.¹⁸ Infelizmente, esse método baseia-se na separação física das câmeras. Assim, não podemos empregá-lo de imediato em sistemas super-reduzidos (e.g., a bordo de um microveículo aéreo).

A adição de uma câmera com pequeno sensor de distância a laser, montado em um giroscópio evita a necessidade de sistemas estéreo-visuais. O Centro ANT vem usando esse sensor para medir a distância de profundidade a qualquer objeto dentro do campo de visão da câmera.¹⁹ Esses sensores, juntamente com um sensor de inércia, assistiriam a navegação de microveículo aéreo sem o uso de GPS, a configuração ideal para a exploração de ambientes fechados e missões de mapeamento. Além de fornecer uma solução de navegação sem GPS, essa pequena e leve combinação de sensores localizaria e produziria a imagem de objetos ou alvos para emprego em inteligência ou processo de seleção de alvos.

Ao contrário da seleção de aspectos, a representação predefinida [*predictive rendering*], outra área de pesquisa assídua em navegação faz uso do conhecimento acerca de dado objeto para calcular o movimento da plataforma. Os pesquisadores do Centro ANT aplicam tal método a cenários de reabastecimento em voo. Um modelo tridimensional de avião-tanque permite aos computadores predeterminar a imagem da aeronave, utilizando a perspectiva da plataforma receptora. Após as câmeras captarem a imagem real, um algoritmo compara a imagem predefinida à observada. Esse estratagema de navegação utiliza técnicas de processo de imagem que simplificam a correlação entre as imagens predefinidas e as reais (i.e., o âmbito de fusão das duas imagens).²⁰

A Combinação de Dispositivo de Comunicação / Navegação via Sistema de Navegação por Inércia e Visão

Podem ser que um conceito oportuno ofereça ao combatente um dispositivo de bolso, portátil, integrado para comunicações e navegação. Os soldados desembarcados frequentemente portam rádio e receptor GPS. A combinação desses dispositivos em um só permitiria o uso do elo de comunicação entre os rádios para posicionamento menos dependente em GPS. Além disso, um INS a bordo, que incorpora a visão oferece estabilidade a curto prazo e dados referentes a ângulo de aproximação. Assim como o INS assistido por GPS combina a estabilidade de soluções GPS a longo prazo com a estabilidade de um INS a curto prazo, assim também o dispositivo integrado proposto ofereceria potencial de navegação precisa sem GPS a relativamente longo prazo.

Os pesquisadores do Centro ANT e da Corporação Raytheon utilizam telemetria baseada em dispositivo de comunicação portátil Raytheon DH-500 para determinar a posição do usuário sem recorrer ao GPS.²¹ Esse sistema de *radio comutado* [um tipo de comutação utilizada para transmitir dados digitais via rádio ou elos de comunicação sem fio. Emprega os mesmos conceitos de transmissão de dados da *Datagram*, fundamentais à comunicação via *Internet*, e sem as técnicas mais antigas que faziam uso de sistemas comutados ou dedicados] possui capacidade de alcance além de potente comunicação. Recentemente, o Centro ANT combinou a telemetria via rádio do Raytheon DH-500 com INS assistido por estéreo-visão para navegação precisa sem o uso do GPS.²²

Esse tipo de pesquisa serve de portal de entrada à ampla classe de problemas, ou seja, o uso de dispositivos portáteis de navegação e comunicação complementados por outros sensores para sinergia de navegação e comu-

nicação. Esses dispositivos também permitiriam a cooperação de múltiplas plataformas dentro de uma só rede, oferecendo ainda maior número de dados de navegação.

Não Existe Tamanho Único

Para a vasta maioria dos empregos militares, o *GPS*, (ou *GPS* com *INS*) quando disponível, satisfaz as exigências de desempenho de navegação. Caso contrário, devemos recorrer à abordagens alternativas de navegação como as descritas acima. No entanto, comparadas ao *GPS*, todas possuem grandes desvantagens. Por exemplo, a navegação por radiofarol é inaplicável em todo o planeta, pois requer a implantação de radiofaróis. Para utilizar os *SoOP* é necessário acesso ao tipo correto de sinais (também é suscetível a todas as outras desvantagens descritas anteriormente). A navegação baseada em visão computacional não funciona bem em caso de nevoeiro ou sobre o mar. A navegação via radio-telemetria só funciona com a utilização de vários veículos. Em consequência, não existe abordagem alternativa perfeita e única para substituir o *GPS* em todos os ambientes. A pesquisa que desenvolve a capacidade de navegar sem o uso de sinais *GPS* é importante e deve continuar. No

entanto, simplesmente um maior número de opções não é a solução perfeita.

O Caminho a Seguir: A Navegação com o Uso de Todos os Recursos

A Força Aérea deve adotar uma abordagem que utilize todos os meios para conseguir precisão sem o uso do *GPS*.²³ Um algoritmo de navegação com todos os recursos calcula uma solução precisa das dinâmicas da plataforma, usando todos os dados disponíveis. A Figura 2 demonstra um cenário teórico baseado em *INS* e usa dados de outros sensores: *GPS*, *SoOP*, visão, detecção de luz e telemetria, campos magnéticos, gravidade e radar. Note a inclusão intencional do *GPS*. Um sistema de navegação que faz uso de todos os recursos deve também utilizar esse sistema, quando disponível. Assim, combina todos os dados disponíveis e emprega um subconjunto reduzido de sensores, caso alguns não estejam disponíveis.

O Centro *ANT* desenvolve sistemas que se adaptam facilmente à situações específicas, utilizando os sensores mais adequados. Por exemplo, a navegação baseada em imagens seria adequada a ambiente urbano durante o dia, enquanto que a abordagem menos pre-

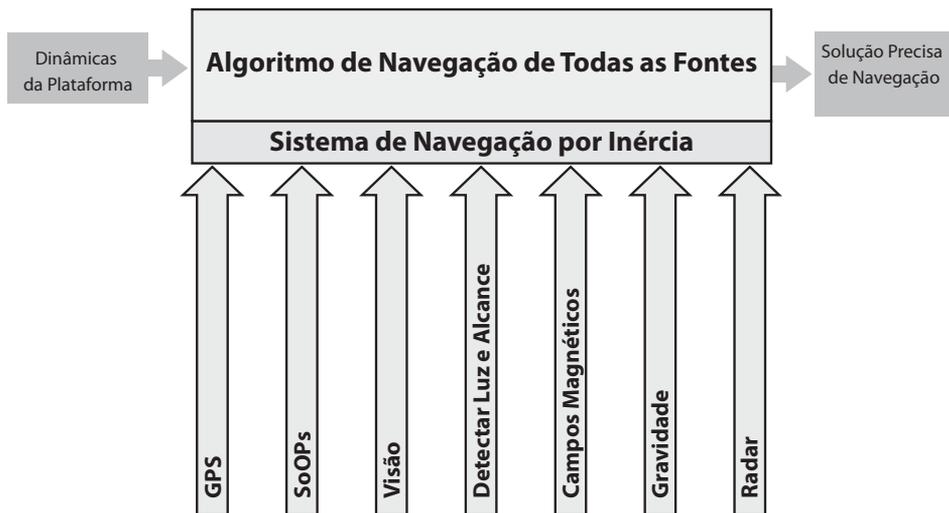


Figura 2. Algoritmo hipotético de navegação com o uso de todos os recursos

cisa baseada em campo gravitacional seria mais adequada a rotas que sobrevoam os mares. É óbvio que diferentes situações exigem distintos grupos de sensores. O problema, no entanto, é que os planos de integração em curso, geralmente não permitem o fácil intercâmbio de sensores de navegação. Já que a maioria dos sistemas de navegação integrados é feita sob medida para determinado grupo de sensores, o acréscimo de outro significa grande aumento de trabalho. É possível a fabricação de sistema com múltiplos GPS e sensores não-GPS que funcionem em quase todos os ambientes, mas tal sistema seria extremamente difícil de manejar em termos de tamanho, peso e potência, sem mencionar a informática complexa. Na realidade, diferentes missões clamam por agrupamentos de diferentes sensores. Portanto, à medida que as missões mudam, esses agrupamentos também devem mudar. O ideal seria simplesmente anexar qualquer agrupamento de sensores de navegação necessário à dada missão a processador de núcleo integrável, a fim de adaptar a capacidade aos requisitos da missão.

A implementação de um sistema de navegação tipo “conecte-e-pronto” [*plug-and-play*] requer pesquisa e desenvolvimento em algoritmos de integração básicos, bem como em projetos de integração, inclusive equipamento e programação, que conecte e combine insumos de vários sensores físicos. O grupo de peritos encarregados de pesquisa em navegação possui interesse cada vez maior no tópico. Por exemplo, a DARPA acaba de publicar um edital de licitação, amplamente difundido, para programa que visa “desenvolver a estrutura, método de abstração e algoritmos de filtragem para a navegação necessários à rápida integração e reconfiguração de qualquer combinação de sensores.”²⁴ Embora a integração flexível de sistemas apresente difícil problema, o benefício será notável aos usuários militares, se pudermos manufaturar sistemas que consigam navegar em quase todos os tipos de ambiente e que sejam práticos em termos de tamanho, peso, potência e custo.

Os pesquisadores do Centro ANT desenvolveram tecnologia que começará a produzir o algoritmo de navegação que utiliza todos os

recursos e o agrupamento de sensores necessário à disponibilização de tal sistema. A Força Aérea deve continuar a investir em algoritmos de integração, sensores e tecnologia modular se o objetivo for a navegação precisa em ambientes sem a disponibilidade de GPS. □

Base Aérea Wright-Patterson, Ohio

Notas

1. John W. Moyle, “The Space and Air Force: One Pathway to the Future,” *Air and Space Power Journal: Chronicles Online Journal*, acessado em 15 de março de 2011, <http://www.airpower.maxwell.af.mil/airchronicles/cc/moyle.html>.

2. Alan Cameron, “Perspectives—June 2008,” 24 June 2008, *GPS World*, <http://www.gpsworld.com/gnss-system/perspectives-june-2008-7254>.

3. Michael P. Pillsbury, PhD, *An Assessment of China’s Anti-satellite and Space Warfare Programs, Policies and Doctrines*, Report to the US-China Economic and Security Review Commission, 19 January 2007, http://www.uscc.gov/researchpapers/2007/FINAL_REPORT_1-19-2007_REVISIED_BY_MPP.pdf.

4. O termo navegar significa “registrar, planejar e controlar a posição e o curso de navio ou aeronave.” Deriva-se do latim *navigare*. Uma contração de *navis*, “navio” e *agere*, “guiar.” Webster’s II: *New Riverside University Dictionary*, 1988, s.v. “navigate.”

5. Uma ferramenta comum para estabelecer a direção – a bússola magnética – foi introduzida na China no século XII. As pessoas normalmente determinavam a distância, observando a velocidade do navio com o passar do tempo. Ver Pratap Misra e Per Enge, *Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance* (Lincoln, MA: Ganga-Jamuna Press, 2001).

6. United States Air Force Chief Scientist (AF/ST), *Report on Technology Horizons: A Vision for Air Force Science and Technology during 2010–2030*, vol. 1, AF/ST-TR-10-01-PR (Washington, DC: Headquarters US Air Force, Office of the USAF Chief Scientist, 15 May 2010), 76, http://www.aviationweek.com/media/pdf/Check6/USAF_Technology_Horizons_report.pdf.

7. O filtro leva o nome de Rudolph Kalman, o primeiro a publicar seu algoritmo predizer-observar-comparar em “A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems,” *Transactions of the ASME [American Society of Mechanical Engineers]—Journal of Basic Engineering* 82 (1960): 35–45, <http://www.cs.unc.edu/~welch/kalman/media/pdf/Kalman1960.pdf>.

8. Senado, a Declaração da Dra. Jane A. Alexander, Acting Director, Defense Advanced Research Projects Agency,

ante o Subcomitê referente a Emerging Threats and Capabilities, Committee on Armed Services, United States Senate, 107th Cong., 1ª ses., 5 June 2001, 9, <http://armed-services.senate.gov/statemnt/2001/010605alex.pdf>.

9. Locata, um provedor comercial, detalha um sistema baseado em radiofarol em Joel Barnes et al., “LocataNet: A New Positioning Technology for High Precision Indoor and Outdoor Positioning” (apresentação durante a 16th International Technical Meeting of the Satellite Division of the US Institute of Navigation, Portland, OR, 9–12 September 2003), 1119–28, <http://www.locatacorp.com/docs/2-%20UNSW%20Locata%20ION%20Paper%20presented%20Portland%20Sep%2011,%202003.pdf>.

10. Ryan J. Eggert e John F. Raquet, “Evaluating the Navigation Potential of the NTSC Analog Television Broadcast Signal” (apresentação durante os procedimentos da 17th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation [ION GNSS 2004], Long Beach, CA, 21–24 September 2004), 2436–46; Jonathan McEllroy, John F. Raquet e Michael A. Temple, “Use of a Software Radio to Evaluate Signals of Opportunity for Navigation” (apresentação durante os procedimentos de ION GNSS 2006, Fort Worth, TX, 26–29 September 2006); Richard K. Martin, Jamie S. Velotta e John F. Raquet, “Bandwidth Efficient Cooperative TDOA Computation for Multicarrier Signals of Opportunity,” IEEE [Institute of Electrical and Electronics Engineers] Transactions on Signal Processing 57, no. 6 (June 2009): 2311–22; e Wilfred Noel, “Indoor Navigation Using OFDM [Orthogonal Frequency-Division Multiplexing] Signals” (tese de Mestrado, Air Force Institute of Technology, AFIT/GE/ENG/11-30, March 2011).

11. O potencial de navegação foi inicialmente desenvolvido em Kenneth A. Fisher e John F. Raquet, “Navigation Potential of Signals Modeled with Multipath Effects and Noise” (apresentação durante os procedimentos do 2005 National Technical Meeting of the Institute of Navigation [ION NTM], San Diego, CA, 24–26 January 2005), 320–31.

12. Para demonstrações reais de navegação, utilizando estação de rádio AM comparada à navegação com o uso de GPS, ver Timothy D. Hall, Charles C. Counselman III e Pratap Misra, “Instantaneous Radiolocation Using AM Broadcast Signals” (apresentação durante os procedimentos do ION NTM, Long Beach, CA, 22–24 January 2001), 93–99.

13. Tal esquema é detalhado em Jason Crosby, “Fusion of Inertial Sensors and Orthogonal Frequency Division Multiplexed (OFDM) Signals of Opportunity for Unassisted Navigation” (tese de Mestrado, Air Force Institute of Technology, AFIT/GE/ENG/09-11, March 2009).

14. Para usar um sinal para determinar posição, deve-se conhecer a origem. O sinais exclusivos [fingerprin-

ting] em radiofrequência facilita a associação de sinais com o transmissor. Ver William C. Suski et al., “Using Spectral Fingerprints to Improve Wireless Network Security” (apresentação, Global Telecommunications Conference, 2008: IEEE GLOBECOM 2008, New Orleans, LA, December 2008).

15. Skyhook, <http://www.skyhookwireless.com/howitworks/>.

16. William F. Storms e John F. Raquet, “Magnetic Field Aided Vehicle Tracking” (apresentação durante os procedimentos do ION GNSS 2009, Savannah, GA, 22–25 September 2009).

17. Jeffery Gray e Michael Veth, “Deeply-Integrated Feature Tracking for Embedded Navigation” (apresentação durante os procedimentos da 2009 International Technical Meeting of the Institute of Navigation, Anaheim, CA, 26–28 January 2009), 1018–25.

18. Michael Veth e John Raquet, “Fusing Low-Cost Image and Inertial Sensors for Passive Navigation,” Navigation 54, no. 1 (Spring 2007): 11–20.

19. 2nd Lt Don J. Yates, “Monocular Vision Localization Using a Gimbaled Laser Range Sensor” (tese de Mestrado, Air Force Institute of Technology, AFIT/GE/ENG/10-31, March 2010), <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA524323&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf>.

20. Capt Adam D. Weaver, “Predictive Rendering: A New Vision-Aided Approach for Autonomous Aerial Refueling” (tese de Mestrado, Air Force Institute of Technology, AFIT/GE/ENG/09-45, March 2009).

21. A Raytheon fornece o sistema de comunicação a rádio para o programa Land Warrior, atualmente em operação na 4th Stryker Brigade Combat Team no Iraque. O Centro ANT e a Raytheon operam através de acordo cooperativo de pesquisa e desenvolvimento para criar soluções de navegação sem-GPS.

22. 2nd Lt Erich Lichtfuss, “Indoor Navigation Using Vision and Radio Ranging” (tese de Mestrado, Air Force Institute of Technology, AFIT/GE/ENG/11-23, March 2011).

23. O termo all-source navigation é uma adaptação de all-source intelligence, que combina dados de inteligência de múltiplas plataformas para produzir um quadro mais completo do que qualquer outro baseado em apenas uma fonte.

24. Strategic Technology Office, Broad Agency Announcement: All Source Positioning and Navigation (ASPN), DARPA-BAA-11-14 (Arlington, VA: Defense Advanced Research Projects Agency, Strategic Technology Office, November 2010), 5, https://www.fbo.gov/download/b9e/b9e293bc25ab6cc1f7ad0601415bf5df/DARPA_BAA_11-14