

## TECNOLOGIA DE FUSÃO DE DADOS DE MÚLTIPLOS SENSORES

### MULTISENSOR DATA FUSION TECHNOLOGY



A fusão de dados de múltiplos sensores é uma das áreas e tecnologias de interesse da defesa nacional (Ministério da Defesa do Brasil). Há aproximadamente 20 anos diversos métodos de fusão de dados foram apresentados. Tais métodos geralmente estão relacionados ao setor de defesa, porém a fusão de dados também pode ser aplicada em outras áreas como diagnósticos médicos, indústria, etc. Uma forma simples de explicar seu funcionamento é afirmar que esta tecnologia combina informações de vários sensores a fim de produzir outras informações mais acuradas.

Para melhor explicar este assunto entrevistamos o Sr. Élcio Jeronimo de Oliveira<sup>1</sup>, do IAE (*Comando Geral de Tecnologia Aeroespacial, Instituto de Aeronáutica e Espaço*). Oliveira é graduado em Física (UFRJ, 1999), oficial especialista em Comunicações (FAB, 2001) e mestre em Engenharia Submarina (2001). Possui experiência nas áreas de Engenharia Submarina e Aeroespacial, com ênfase em satélites e outros dispositivos aeroespaciais, e atua

principalmente nos seguintes temas: antenas, eletromagnetismo, sonar, acústica submarina, radionavegação e controle e automação.

*1. Diferentes autores definem a fusão de dados de formas diferentes, como por exemplo, Mangolini (1994) “conjunto de métodos, ferramentas e meios utilizando informações vindas de várias fontes de natureza diferente, a fim de aumentar a qualidade (qualidade em amplo sentido) das informações solicitadas.” Já Hall (1997), diz “técnicas de fusão de dados combinam informações de vários sensores, e informações relacionadas com bancos de dados associados, para alcançar maior precisão e deduções mais específicas do que poderiam ser alcançados através da utilização de um único sensor”. O DoD (1991) define como “fusão de dados é um processo multifacetado, multinível lidando com a detecção automática, associação, correlação, estimação e combinação de dados e informações de várias fontes”. E entre outras definições, Dutra (2006) apresenta como “fusão de dados é o processo que consiste em tomar dois ou mais ranks e gerar um novo, baseado na união das informações fornecidas inicialmente”. Sob qual ponto de vista o senhor analisa a fusão de dados?*

A fusão de dados, sob a ótica em que estudo, objetiva definir o estado de um sistema de modo a prover maior confiabilidade no processo decisório. Esta confiabilidade tende a ser ampliada com a adição de informações redundantes e independentes sobre um dado evento. Logo, considero a fusão de dados como a integração, correlação e filtragem de múltiplas informações oriundas de múltiplas plataformas (ou sensores) que visem garantir, no sentido estatístico, a detecção ou caracterização deste evento.

---

<sup>1</sup> [elcioejo@bol.com.br](mailto:elcioejo@bol.com.br)

## *2. Fusão de dados e união de dados são termos que podem ser usados como sinônimos?*

Não necessariamente. O termo “unir” leva à idéia de colocar todos os elementos dentro de um único espaço amostral onde estes dados podem ser analisados em grupo ou separadamente e cuja decisão final pode ou não considerar um elemento deste espaço (dado). Por outro lado, o termo “fusão” traz em sua essência a idéia de juntar todos os elementos deste espaço, ponderando-os e fornecendo no final do processamento uma estimativa ótima (ou sub-ótima) do estado avaliado. Logo, a fusão de dados é um processo mais complexo que exige um tratamento mais refinado dos dados dos sensores de modo a reduzir os erros de estimativas, melhorando a qualidade das informações.

## *3. Informações expressas através de dados fundidos podem ser “cisadas” de volta ao seu estado original? Isto é, passarem por uma operação inversa a fusão, retornando ao estado original, para alguma análise específica?*

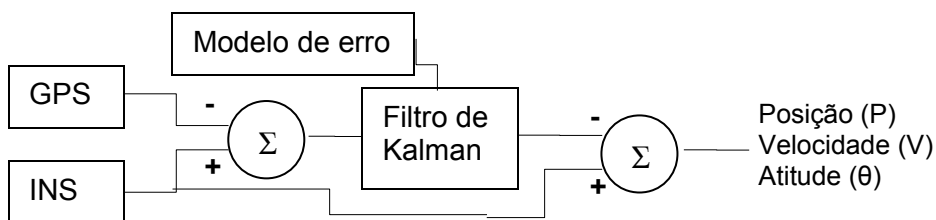
Normalmente, quando se lança mão da fusão de dados não se conhece nem o valor real do estado que se deseja estimar e nem os valores absolutos dos erros associados às medidas deste estado. Logo, quando um conjunto de informações de diferentes sensores (ou sensores redundantes) são “fundidas”, as estatísticas dos erros inerentes àquelas medidas devem ser incorporadas no processo de avaliação como um todo. O estimador (qualquer que seja ele) que realiza esta operação deve prover uma estimativa com mínima variância, pois, não há sentido em se obter no final da fusão uma estimativa pior do que aquela com os dados isolados. Como conseqüência, no final do processo tem-se uma informação cujos erros foram filtrados e ponderados ao máximo (dentro dos limites do estimador) provocando no processo de inversão desta fusão (isto quando a operação inversa existir) um valor para as medidas que podem ser diferentes dos seus valores originais.

## *4. Existe algum algoritmo genérico para a fusão de dados, ou para cada caso específico um algoritmo apropriado deve ser desenvolvido?*

Em linhas gerais, ser “genérico” implica em redução de eficiência em favor da flexibilidade. Logo, tendo em mente que o processo de fusão de dados pode ser utilizado em uma vasta gama de aplicações, e isto implica em uma diversidade de sensores e fontes de informação, fica evidente que para um alto desempenho será exigido um algoritmo particularizado (customizado) para cada aplicação.

## *5. Como o senhor avalia a questão de haver pouca referencia para o tema fusão de dados, onde os algoritmos sejam claramente explicitados, considerando-se que há mais de 15 anos esta tecnologia vem sendo desenvolvida? O senhor poderia apresentar um exemplo numérico de fusão de dados, de dois sensores quaisquer, produzindo uma nova informação.*

Em primeiro lugar, a muitos dos trabalhos que trazem em seu conteúdo a expressão “fusão de dados” carregam em seu bojo uma aplicação e/ou um suporte oriundo de um projeto militar. Desta forma, as informações mais refinadas ficam bastante restritas. Entretanto, pode ser encontrado na literatura trabalhos que possuem as características de uma fusão de dados devido a sua natureza, mas onde este conceito fica transparente. Um exemplo que pode caracterizar este fato é a aplicação da filtragem de kalman no processamento do algoritmo de navegação de um veículo (aeronave, veículo terrestre e etc.), onde informações oriundas de diferentes sensores (ex.: unidade de navegação inercial e GPS) são “fundidas” no algoritmo objetivando uma melhor precisão e confiabilidade na navegação. O processo é representado pelo diagrama de blocos a seguir [1],



Matematicamente, o filtro de Kalman na forma discreta é dado pelas equações:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A}\mathbf{x}_k + \mathbf{B}\mathbf{w}_k$$

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{H}\mathbf{x}_k + \boldsymbol{\eta}_k$$

Onde,  $\mathbf{A}$  é a matriz da dinâmica do erro;  $\mathbf{B}$  é a matriz de perturbações;  $\mathbf{H}$  é a matriz de observação;  $\mathbf{x}$  é o vetor de estados;  $\mathbf{w}$  é o vetor de perturbações;  $\mathbf{z}$  é o vetor de medidas e  $\boldsymbol{\eta}$  é o vetor de ruído nos sensores.

O vetor de estados  $\mathbf{x}$  contém os estados (posição, velocidade e atitude) a serem estimados em função do modelo de erro e das medidas obtidas em  $\mathbf{z}$  a cada tempo  $k$ . As medidas fornecidas por  $\mathbf{z}$  são as diferenças entre os valores medidos pela unidade inercial (INS) e o GPS no seguinte modo:

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} \text{INS}_{pos} - \text{GPS}_{pos} \\ \text{INS}_{vel} - \text{GPS}_{vel} \end{bmatrix}$$

De certo, a utilização deste método exige o conhecimento de um modelo matemático que descreva razoavelmente o sistema sob análise, o qual não foi apresentado por questão de brevidade. Entretanto, com este exemplo explicado de forma sucinta, fica evidente a fusão de duas informações distintas que, após processadas por um estimador (Filtro), resultam em uma informação mais acurada, sendo este o cerne do conceito fusão de dados.

[1] B.A. Ragel and M. Farooq; *Kalman Filter For Aided Inertial Navigation System. IEEE, 2005.*

6. Quais os sensores comumente utilizados na fusão de dados? Ou qualquer sensor pode ser utilizado?

A escolha do sensor está intimamente ligada ao tipo de problema. Se pensarmos em uma fábrica, poderemos ter sensores de pressão, temperatura, concentração de certo elemento e etc. Entretanto, se imaginarmos um cenário de guerra anti-submarino, poderemos ter uma rede de sonares (fixos ou ligados a navios, aviões, helicópteros e etc.), sensores de anomalia magnética, sensores térmicos, radares de alta frequência, além de outras possibilidades que poderão compor uma vasta rede cujos dados poderão ser fundidos e utilizados no processo de tomada de decisão.

7. Sob quais condições a fusão de dados de múltiplos sensores otimiza o funcionamento de um sistema? Por exemplo, um sistema de defesa ou um sistema industrial.

Quando esta fusão introduz uma melhoria nas características da informação, redução de

custos operacionais e minimização do tempo de acesso a uma informação confiável. Por exemplo, se possuímos, em um cenário de guerra anti-submarino, apenas um navio com capacidade sonar, o tempo entre a detecção e a reação contra o alvo (submarino) pode ser elevado em demasia. No entanto, se inserimos neste contexto uma aeronave com capacidade sonar, ao fundirem-se as informações das duas fontes sensoras (navio e avião), poderá ocorrer um aumento na confiabilidade na determinação da posição do alvo com um aumento da velocidade de reação (torpedos lançados do avião). Em uma planta industrial de grande complexidade a análise não é muito diferente. Diversos sensores situados adequadamente ao longo da planta podem fornecer, através de um algoritmo apropriado, a situação instantânea da planta e seus pontos de operação crítica. Neste contexto, podemos usar como exemplo as plantas de exploração de petróleo em alto mar, onde o monitoramento, avaliação do status operacional e tomada de decisão devem ser realizadas em um curto intervalo de tempo sob a pena de um acidente de dimensões catastróficas.

*8. Como os dados individuais de um sensor devem ser processados de modo a extrair o máximo possível de informações?*

Dependendo do sistema em questão e do tipo de sensor, é de grande valia uma análise e pré-filtragem de seu sinal para diminuir as influências espúrias e, conseqüentemente, a incerteza associada. Em muitas situações práticas, os sensores sofrem interferências do entorno onde está localizado gerando um erro na medida da informação desejada. Com uma análise e pré-filtragem do sinal pode-se reduzir em muito estas interferências aumentando a qualidade da informação deste sensor.

*9. De que forma o ambiente de coleta de dados (ou seja, a propagação do sinal, as características do alvo, ruídos de fundo, embaralhamento eletrônico de sinais, etc) afeta a transformação do sinal?*

Aumentando a incerteza associada na estimativa do estado ou mascarando a informação de interesse. Um exemplo interessante seria a tentativa de detecção de um submarino por um sonar quando um grupo de baleias está na região ou quando se tem plataformas de exploração de petróleo próximas. Se não houver um processamento apropriado do sinal recebido pelo sonar o submarino inimigo pode passar despercebido em meio a toda essa “poluição” acústica.

*10. A instrumentação utilizada na coleta de dados pode ser danificada temporariamente ou permanentemente através do uso de instrumentos eletromagnéticos?*

Devido ao grande avanço nas tecnologias eletrônicas e digitais dos últimos anos é notória a agregação destes avanços aos sistemas sensores o que os tornam sensíveis a influência de efeitos eletromagnéticos. Algumas vezes esta influência é apenas temporária gerando apenas um erro (efeito de indução) na medida geralmente chamado de “bias”, erro este que cessa quando a fonte eletromagnética é isolada ou desligada. Em outros casos os danos podem ser permanentes como os causados quando equipamentos eletrônicos são atingidos por pulsos eletromagnéticos (PEM).

*11. Falando em PEM, o senhor vê o risco de armas de radiação de alta frequência (HERF Guns) serem utilizadas no cenário próximo contra interesses vitais da nação? (Como telecomunicações, satélites, aeroportos)*

Uma vez que a tecnologia exista qualquer nação está sujeita a sofrer seus efeitos. A única questão é avaliar quando e em que circunstâncias. No nosso caso, considerando o cenário atual, não há um indício de vir a ocorrer um ato de tamanha agressividade.

## 12. Quando ou em que situações os dados de um sensor devem ser considerados inválidos?

A informação “fundida” deve apresentar um erro associado menor ou igual ao da informação isolada. Desta forma, se a inserção (fusão) da informação de um sensor aumenta o grau de incerteza na estimação do estado (ou da informação) além de um limite aceitável, este sensor deve ser considerado impróprio para a fusão.

## 13. Todos os sensores contribuem de forma igual na fusão de dados ou alguns são mais relevantes que outros?

Tendo em mente que até mesmo os sensores de mesma natureza e construídos dentro de especificações rígidas apresentam diferenças na medida de um mesmo estado, fica evidente que as contribuições de sensores diferentes devem ter ponderações diferenciadas. Como consequência, as informações de sensores com maior confiabilidade devem possuir maior peso na sua contribuição.

### Sugestões para leituras complementares:

- *M. Mangolini, Apport de la fusion d'images satellitaires multicapteurs au niveau pixel en télédétection et photo-interprétation. Thèse de Doctorat, Université Nice - Sophia Antipolis, France, 174 p., 1994.*
- *D. L. Hall, and J. Llinas, "An introduction to multisensor data fusion," (invited paper) in Proceedings of the IEEE, vol. 85, n° 1, pp. 6-23, 1997.*
- *U.S. Department of Defence, Data Fusion Subpanel of the Joint Directors of Laboratories, Technical Panel for C3, "Data fusion lexicon," 1991.*
- *XII Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web. Completamento de Ranks Parciais para a Fusão de Dados. 2006. (Simpósio).*

### Agradecimentos

O Grupo Tchê Química agradece à Professora Dra. Cláudia H. Batistela pelo auxílio na elaboração das questões da entrevista.