



DAS, SUBRATA. *HIGH-LEVEL DATA FUSION*. NORWOOD: ARTECH HOUSE, 2008. p.363. ISBN 978-1596932814.

FLÁVIO CÉSAR DE SIQUEIRA MARQUES¹

O autor utiliza o termo Fusão de Dados de Alto Nível (ou simplesmente Fusão de Alto Nível) como sendo o estudo do relacionamento e da dinâmica entre objetos e eventos detectados por sensores dispersos em determinado ambiente. Com o objetivo de evidenciar as diversas interações entre esses elementos de estudo, uma abordagem matemática e estatística é conduzida com foco na explicação dos algoritmos e outras formulações necessárias ao entendimento do assunto. Além desse entendimento, o livro propicia diversos exemplos de natureza militar, contextualizando sistemas de vigilância, de radar, de inteligência e outros. Desde os níveis mais básicos de fusão, normalmente próximos aos sensores, até aqueles mais próximos dos decisores, nos quais o fator cognitivo sobressai, a mecânica analisada permite ao leitor uma compreensão das estruturas envolvidas nesta análise. Os conceitos utilizados nesta obra podem ser implementados em programas de computador, para que introduzam maior efetividade nos sistemas de informação, por meio das diversas bibliotecas e módulos em software sugeridos pelo autor.

Os modelos discutidos são divididos em 3 (três) abordagens distintas: os **baseados em física**, que envolvem equações lineares e não-lineares para a definição de sistemas, empregando os conceitos de filtragem de Kalman² e de partículas; os **baseados em dados**, que empenham-se em observar as entradas e saídas dos módulos dos sistemas, modelando-os por técnicas de aprendizado de máquina e outras ferramentas de inteligência artificial, incluindo o uso de Redes Neurais;³ por fim, os modelos baseados em conhecimento, nos quais os especialistas unem-se aos engenheiros do conhecimento para modelarem o sistema, empregando técnicas de Lógica Fuzzy⁴ e de Redes Bayesianas.⁵ Nesse contexto, o autor afirma que o caráter multidisciplinar dos sistemas de fusão faz com que se permeiem essas diversas abordagens, sendo difícil limitar-se a somente um tipo. Assim, preferiu organizar o livro em termos de sistemas de fusão e não de tecnologias empregadas, facilitando a ampla utilização de exemplos, via de regra, ligados ao campo de batalha de defesa.

O primeiro capítulo descreve termos e conceitos de interesse dos sistemas de fusão de dados, que serão utilizados no decorrer da obra. A análise da situação é mostrada como um objetivo a ser atingido com o apoio desses sistemas e, para tanto, o modelo JDL⁶ divide as diversas atividades de fusão em 4 (quatro) níveis funcionais, partindo desde o mais próximo dos sensores (nível 1 – refinamento de objeto) até o mais alto (nível 4 – refinamento do processo). O autor ainda faz referência a um quinto nível – refinamento de usuário – proposto

¹ Escola de Comando e Estado-Maior do Exército (ECEME). Rio de Janeiro - RJ. Brasil.

E-mail: <flaviocmarques@terra.com.br>

Mestre em Operações Militares (ESAO).

² Filtragem estado-espacial utilizada para estimar o estado de alvos em um sistema de tempo discreto ou contínuo (p.82).

³ Técnica matemática na qual uma determinada entrada é mapeada para uma saída desejada, utilizam-se conceitos que se assemelham ao comportamento do cérebro humano (PRIDDY, 2005).

⁴ A lógica nebulosa ou difusa é um conceito matemático, baseado na teoria dos conjuntos, utilizado para o tratamento de incerteza e modelagem de inferência.

⁵ Representação gráfica probabilística de um conjunto de variáveis com o objetivo de modelar um determinado domínio.

⁶ Modelo funcional criado no Joint Director's of Laboratories (JDL) para o estudo dos sistemas de fusão de dados.

por Blasch e Plano (2002) para modelar a interação do usuário frente à sobrecarga, à atenção, à percepção etc. Além desse modelo, o autor exemplifica a distribuição de funções típicas de um sistema de fusão de dados na pirâmide de hierarquia do conhecimento (DIKW – Data Information Knowledge and Wisdom), partindo da base com o **nível de dados**, onde se encontram os relatórios de Inteligência do Sinal. Posteriormente, passa pelo **nível da informação**, no qual surgem os relacionamentos semânticos entre os dados para um determinado fim; ingressando no **nível do conhecimento**, no qual se sobressai o caráter de percepção das informações ou fatos de uma situação. Finalmente, chega-se ao nível da sabedoria, apoiado no conhecimento e na experiência, onde a noção do que é verdade é maior, possibilitando a tomada de decisão nas operações.

Os próximos dois capítulos fornecem subsídios matemáticos e estatísticos para apoiar o desenvolvimento de algoritmos e outros estudos, ligados à área de fusão de dados. O conceito de ignorância é explicitado e dividido nas seguintes categorias: de **incompleteza**, na qual falta uma variável; de **imprecisão**, onde a variável existe, mas a precisão não é suficiente ao estudo; e de **incerteza**, na qual a informação é completa e precisa, mas pode falhar em determinado momento. Nesses capítulos dois e três, as diversas abordagens para o tratamento das incertezas nos sistemas de fusão são tratadas, incluindo as neo-probabilísticas (redes bayesianas), neo-calculistas (teoria de funções de crença), neo-logicistas (teoria de lógica) e neo-possibilistas (baseadas em conjuntos Fuzzy).

No prosseguimento, os capítulos quatro e cinco introduzem, no nível um do modelo JDL, uma das funções clássicas da fusão de dados: o acompanhamento de alvos. Apesar do livro não abordar esse nível de fusão em detalhes, o autor descreve os conceitos do Filtro Kalman, que tem o objetivo de estimar o estado de determinado objeto num sistema dinâmico, bastante utilizado no tratamento de alvos e em outras aplicações de fusão de dados. As abordagens estudadas descrevem desde as mais simples, nas quais existe apenas um sensor e um alvo, até aquelas que integram dados de diversos sensores, adquirindo vários alvos ao mesmo tempo. Para uma avaliação mais pormenorizada sobre a análise de alvos, os problemas da classificação e da agregação são descritos no quinto capítulo, tendo o autor criado um nível funcional $I \frac{1}{2}$ para essas técnicas. Com elas é possível integrar resultados de cinética e outras informações contextuais para categorizar veículos blindados, lançadores de mísseis e aeronaves dos mais diferentes tipos. Por fim, o autor conceitua o agrupamento espaço-temporal para identificar o nível de ameaça de um determinado objeto ou grupo de objetos no ambiente, como um comboio ou um conjunto coordenado de veículos como parte de uma emboscada.

Os próximos três capítulos tratam da análise da situação e de outros algoritmos de auxílio à modelagem. Já o sexto aborda a tecnologia mais utilizada, segundo o autor, na modelagem da análise da situação - as **Redes Bayesianas**. O objetivo geral baseia-se na capacidade de inferir probabilidades *a priori*, com base nos dados coletados de determinado objeto observado. Segundo o autor, as principais vantagens das redes bayesianas são as seguintes: o melhor entendimento do modelo, devido à sua forma gráfica; a característica dedutiva e indutiva de prioridades; a aptidão à implementação computacional. Como desvantagens, cita o alto esforço despendido na construção das redes e a inaptidão para o gerenciamento de variáveis contínuas. Exemplificando o conceito, o autor relata uma aplicação de avaliação de posições militares no terreno (p. 192), distinguindo elementos logísticos, lançadores de mísseis e armamentos químicos, biológicos ou nucleares. Após essa análise, a modelagem do tempo é discutida por meio das abordagens teóricas de Markov, no capítulo sete. Esses modelos, além de serem aplicados no fator temporal, têm emprego na análise de texto. O oitavo capítulo amplia a abordagem, introduz novos conceitos matemáticos para fazer face a variáveis contínuas e modelos híbridos, por meio de filtragem de Kalman e de partículas, além das Redes Bayesianas Dinâmicas.

Após prover embasamento matemático e estatístico nos primeiros oito capítulos, alternando descrições teóricas com exemplos de sistemas de defesa, os últimos quatro discutem aspectos mais complexos da fusão de dados de alto nível.

O nono capítulo trata do apoio à decisão, discutindo duas abordagens distintas: o Diagrama de Influência e a Argumentação Simbólica. A primeira utiliza árvores de decisão, baseadas em Redes Bayesianas, para atender aos requisitos da teoria de tomada de decisão. A segunda utiliza cadeias de se-então, que incorporam as probabilidades subjetivas de cada elemento de decisão, adicionando a Teoria de Dempster-Shafer⁷ para classificar os níveis de crença em cada opção. A exemplificação das duas abordagens baseia-se no desdobramento de sistemas antimísseis em defesa de uma determinada população.

No capítulo dez, Subrata apresenta tecnologias para o aprendizado (adaptação) nos modelos de fusão, apresentados nos capítulos anteriores. Em um primeiro momento, são introduzidos os classificadores bayesianos ingênuos, que podem ser empregados na análise textual de documentos de inteligência humana (HUMINT – Human Intelligence). Essa ferramenta é bastante utilizada para a indexação de palavras-chave nesses documentos, que pode ser atingida pelos passos seguintes: retirada de palavras mortas (artigos, preposições, pronomes etc); ordenação dos documentos, baseada na raiz das palavras (desprezando flexões verbais, substantivação etc); e a identificação da frequência das palavras. Além dessa ferramenta, o aprendizado em árvores de decisão é

⁷ A teoria de Dempster-Shafer (1966) converte a credibilidade da fonte em intervalos de probabilidade, representando incertezas de segunda ordem (DAS, 2008, p.48).

mostrado, seguido do aprendizado baseado em redes bayesianas. Essas duas abstrações encerram esse estudo, como forma de calibragem dinâmica dos sistemas de fusão de dados em alto nível, garantindo a manutenção da qualidade das decisões com o decorrer do tempo.

O capítulo onze discute a tecnologia de agentes cognitivos para fusão de dados, amplamente utilizada em ambientes de guerra centrada em redes, como afirma o autor, para o processamento dos dados no nível do sensor. Esses *sensores inteligentes* evitam a sobrecarga dos canais de transmissão e do elemento humano em um sistema de vigilância, propiciando a criação de uma análise da situação compartilhada. Nesse contexto, a visão arquitetural dos sensores é colocada face a elementos comportamentais do ser humano, como a percepção, a geração de objetivos, a análise da situação, a geração de hipóteses e o encadeamento e o planejamento de ações. Dessa abordagem, resultam conceitos como o envelope, que integra capacidade humana de reação e habilidade, sendo empregado no planejamento e geração de possíveis linhas de ação. A distribuição do conceito de *envelope* pelos níveis funcionais do modelo JDL, segundo o autor, indica como sendo do nível 1 (estudo do objeto) a **percepção do ambiente**; no nível 2 (estudo da situação), encontra-se a **compreensão da situação**; no nível 3 (estudo da ameaça), tem-se a **geração de planos e opções**; entre os níveis 3 e 4, pode-se classificar a **execução do procedimento**; e, no nível 4 (refinamento do processo), o autor indica a **geração de planos** (de nível superior).

Finalmente, no último capítulo, Subrata Das utiliza as perspectivas da aquisição de alvos e da análise da situação para estudar a Fusão Distribuída. Nessa abordagem, a visão geral da situação é composta pela visão local de diversos combatentes dispersos no campo de batalha e seu emprego é de grande relevância para a Guerra Centrada em Redes. Nesse ambiente, os diversos nós de fusão comunicam-se entre si e coordenam percepções para melhorar suas estimativas locais, aumentando sinergicamente a eficiência do sistema e contribuindo para a construção de uma situação comum (CTP - *Common Tactical Picture*). O autor avalia redes globais de sensores estadunidense como a SIPRNET⁸ (*Secret Internet Protocol Router Network*), and NIPRNET (*Nonclassified (unclassified but sensitive) Internet Protocol Router Network*), que possuem a característica de interligarem agentes autônomos inteligentes, beneficiando-se da **redução de carga nos canais de comunicações**, na **distribuição do processamento** e da **maior resistência a falhas**. O autor encerra o livro, aplicando essas características aos conceitos existentes (Filtro de Kalman Distribuído) e concertando o papel dos agentes inteligentes entre os seguintes domínios: o **físico**, no qual organizam-se as redes de sensores; o da **informação**, responsável pela coordenação e negociação entre agentes inteligentes; e **cognitivo**, permeando a consciência situacional entre os operadores humanos.

Este resenhista avalia que a presente obra é de interesse para o estudo dos sistemas de fusão de dados de defesa, especialmente pelo rol de exemplos utilizados, quase todos baseados em problemas militares. O livro fornece subsídios para o desenvolvimento de algoritmos computacionais dos níveis intermediários do modelo JDL, apresentando ferramentas ligadas às áreas da teoria de controle, inteligência artificial e aprendizado de máquina, sobre as quais vasta literatura encontra-se disponível. Nos capítulos finais, o autor enumera a abordagem distribuída da fusão de dados, levantando aspectos de novas arquiteturas, que podem integrar modernos sistemas de fusão de dados. Esses capítulos têm sua relevância destacada, pois podem constituir novas áreas de pesquisa a serem exploradas em sistemas de defesa.

REFERÊNCIAS

BLASCH, E. P.; PLANO, S. JDL level 5 fusion mode: user refinement issues and applications in group tracking. SIGNAL PROCESSING, SENSOR FUSION, AND TARGET RECOGNITION, 11., 2002, Orlando. **Proceedings of SPIE**. Orlando: SPIE, 2002, v. 4729, p. 270-279. ISBN: 978-0819444790.

DAS, S. **High-level Data Fusion**. Norwood: Artech House, 2008. ISBN-13: 978-1596932814.

DEMPSTER, A. P. New methods for reasoning towards posterior distributions based on sample data. **Annals of mathematical statistics**. v. 37, n. 2, p. 355-374, 1966.

PRIDDY, K. L. Artificial Neural Networks: an introduction. In: KLEIN, L. A. **Sensor and Data Fusion: a tool for information assessment and decision making**. Wahington: SPIE, 2004. ISBN: 0819459879.

REZENDE S. O. (Org.). **Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações**. Barueri: Manole, 2005. ISBN: 85-20416837.

⁸ Atualmente essa rede evoluiu para o serviço Secret IP Data (Disponível em: <<http://www.disa.mil/Services/Network-Services/Data/Secret-IP>>)