

Fusão de Dados de Alto Nível: Aplicações e Desafios

José F. B. Brancalion¹, Karl H. Kienitz²

1. EMBRAER S.A., Av. Brigadeiro Faria Lima 2170 – São José dos Campos/SP, Brasil, 12227-901
2. Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – São José dos Campos/SP, Brasil, 12228-900

Resumo — A pesquisa na área de fusão de informações tem se concentrado primeiramente na fusão de informações de baixo nível (fusão de dados de múltiplos sensores, protocolos, simulação distribuída, etc) e outros aspectos que não correspondem diretamente aos conceitos da integração de informações de alto nível. Os níveis mais altos do processo de fusão de dados têm sido pouco explorados. Este artigo apresenta possibilidades de utilização dos Sistemas de Fusão de Dados e os principais desafios existentes na área. Uma possível arquitetura para um sistema de fusão de dados de alto nível, integrando diferentes métodos, que possibilitem o fornecimento de uma visão completa aos tomadores de decisão é apresentada.

Palavras-Chave — Fusão de Dados, Modelo JDL, Alto Nível

I. INTRODUÇÃO

A fusão de informações, ou fusão de dados, pode ser definida como um processo de utilizar conjuntos de dados de diversas fontes de informações ao longo do tempo para construir uma representação dos aspectos de interesse em um ambiente. Este processo combina informações e refina as estimativas e predições de estado do mundo. Visa construir uma visão holística do ambiente. [1]

Um modelo de Fusão de Dados muito difundido foi definido pelo Joint Directors of Laboratories (JDL) Data Fusion Working Group. Esta organização criada em 1986 pelo Departamento de Defesa Americano (DoD) tem por finalidade estabelecer uma terminologia comum aos profissionais e pesquisadores envolvidos em projetos e pesquisas na área de Fusão de Dados. Isto aumentou a eficiência dos projetos de Fusão de Dados através da troca de informações técnicas entre os especialistas dos diversos laboratórios que desenvolviam pesquisas na área.

Um dos produtos do JDL foi a criação de um modelo que descreve o processo de Fusão de Dados. Neste modelo, criado em 1987 e revisado em 1999, o processo de Fusão de Dados foi dividido em níveis, de acordo com objetivos planejados. O modelo é apresentado a seguir:

Nível 0: os dados provenientes de vários sensores e bases de dados são pré-processados antes da fusão com outros dados. Inclui o processamento de imagens, processamento de sinais, alinhamento espacial e temporal dos dados, filtragem e compressão de dados.

Nível 1: o propósito é combinar os dados pré-processados dos sensores para obter a mais confiável e precisa estimativa da posição, velocidade e da identidade das entidades. O objetivo é determinar a existência, a localização, as características e os atributos das entidades (alvos aéreos, terrestres e marítimos). Envolve o rastreamento de alvos e o reconhecimento de padrões.

Nível 2: utiliza os resultados obtidos no nível 1 para avaliação da situação militar (significado das entidades, identificação amigo/inimigo).

Nível 3: projeta a situação atual no futuro para obter inferências com relação a potenciais inimigos, ações a serem realizadas, vulnerabilidades das entidades e operações.

Nível 4: monitora todo o processo de fusão de dados para avaliar e melhorar em tempo real o desempenho do processo.

A Figura 1 apresenta o modelo de Fusão de Dados revisado [2].

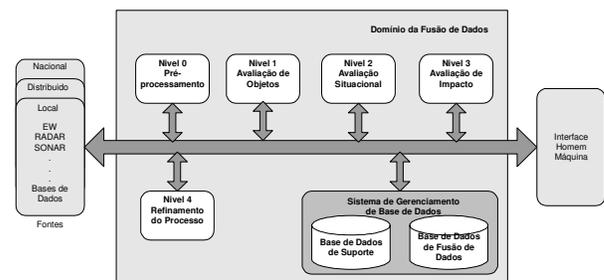


Fig 1: Modelo revisado do JDL para Fusão de Dados. [2]

Os processos funcionais associados à fusão de informações de baixo nível (nível 1 do modelo do JDL) preocupam-se com dados numéricos (ex. localizações, cinemática e atributos dos tipos de alvos), suportando tarefas como classificação de alvos, identificação e rastreamento das entidades presentes em um determinado ambiente. Estes processos constituem-se nas raízes tradicionais da comunidade de fusão de dados, onde os interesses principais estão baseadas na fusão de dados sensoriais, visando a estimativa dos movimentos dos objetos, representados por tipicamente por um conjunto de vetores de estado [3].

Os processos funcionais associados à fusão de informações de alto nível (níveis 2 e 3 do modelo do JDL) preocupam-se com informações simbólicas abstratas (ex. ameaças, intenções e objetivos), suportando análises da situação, do impacto e da intenção das entidades existentes em um determinado ambiente [4]. Estes níveis refletem uma ênfase cada vez maior na direção de generalizar a fusão de

sensores, nos quais os aspectos de interesse no ambiente não são restritos aos objetos.

Algumas questões relevantes relacionadas ao processo de fusão de informações de alto nível que devem ser respondidas pelos sistemas são: O que é isso? De onde se originou? Para onde vai? Qual sua intenção? Qual recurso utiliza? A quem pertence? Com quem se relaciona?

Um sistema de Fusão de Dados de Alto Nível transforma os dados de entrada em informações de Inteligência. Em [5], Waltz descreve esta transformação de dados em informação, e de informação em conhecimento. O nível de cognição é acrescentado para demonstrar o objetivo final de antecipar os eventos contrários. A Figura 2 apresenta o nível cognitivo como o nível mais alto da cadeia de exploração de dados.

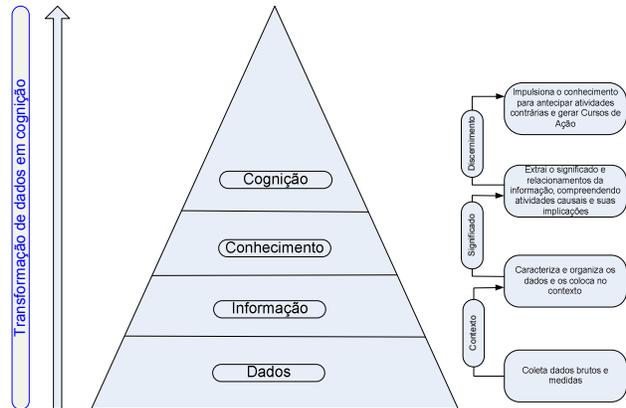


Fig. 2: Cadeia de processamento: dos dados à cognição. [5]

Somente poucos sistemas em operação fornecem um ambiente integrado compreendendo todos os níveis de Fusão de Dados. Além disso, a maioria dos sistemas de Fusão de Dados de Nível 2 estão ainda no nível de “percepção”, como definido no modelo Análise Situacional proposto por Endsley. A capacidade de obter-se compreensão e projeção ainda permanece como um desafio [6].

Este artigo apresenta uma descrição dos níveis mais altos do processo de Fusão de Dados (seções II e III), possíveis aplicações dos sistemas de Fusão de Dados de alto nível (seção IV), os principais produtos fornecidos por um sistema de fusão de dados de alto Nível (seção V) e os principais desafios existentes nesta área (seção VI). A seção VII apresenta as conclusões do artigo.

II. ANÁLISE SITUACIONAL

Os sistemas de Comando e Controle (C2) são compostos por certo número de atividades dinâmicas e cíclicas relacionadas à percepção, procedimentos e cognição, realizadas por seres humanos, sistemas computacionais ou ambos. [7]

Segundo a definição presente em [8] análise situacional é um processo, a avaliação de uma situação, seus elementos e seus relacionamentos e associações (não necessariamente hierárquicos), para fornecer e manter um produto, i.e. um estado da consciência situacional para o tomador de decisão. O processo de análise situacional encapsula a parte do ciclo

de tomada de decisão que se preocupa com o entendimento do mundo. Uma situação pode ser definida como uma combinação específica de circunstâncias, condições, fatos ou estados em certo instante de tempo. O objetivo deste processo é antecipar, com auxílio de uma base de dados de conhecimento *a priori*, a interpretação e predição da razão destes relacionamentos.

A análise situacional, se realizada por pessoas ou sistemas automatizados ou uma combinação de ambos, envolve inferências dos seguintes tipos [9]:

- inferir a presença e os estados das entidades baseado nos relacionamentos que elas participam;
- inferir os relacionamentos com base nos estados das entidades ou outros relacionamentos;
- reconhecer e caracterizar as situações observadas;
- projetar situações não observadas.

O processo de fusão de informações é essencial para atender aos requisitos de sistemas de suporte a decisão nos âmbitos militares e civis, principalmente relacionados à análise situacional [10]. A Figura 3 apresenta os três níveis de consciência situacional derivadas como produtos do processo de avaliação situacional e de ameaças [6].

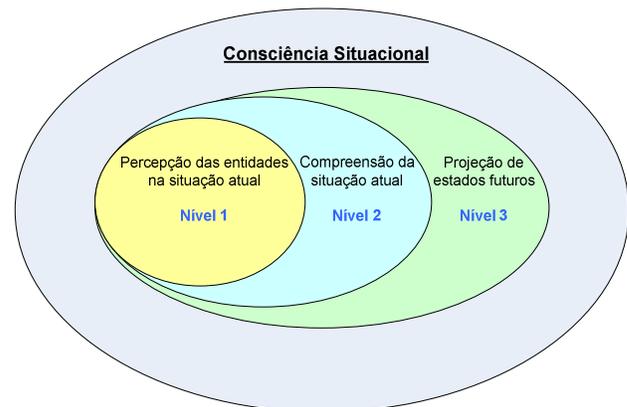


Fig 3: Níveis de consciência situacional baseados no modelo de Endsley. [6]

A avaliação situacional e de impacto envolve a geração de hipóteses sobre os estados atuais e preditos do ambiente, fornecendo informações relevantes para os tomadores de decisão, avaliações de suas probabilidades de ocorrência e apresentação de seleção de alternativas.

III. ANÁLISE DE INTENÇÕES

A intenção pode ser vista como a determinação ou decisão de realizar uma certa ação, ou o estado mental sob o qual algo é feito. [11] A noção de intenção relaciona-se com ideias de objetivo, propósito, alvo e plano. Consultando o dicionário Michaelis da língua portuguesa são encontrados os seguintes significados para a palavra intenção: “1 O próprio fim a que se visa. 2 Intento, pensamento, propósito. 3 Pensamento secreto e reservado. 4 Vontade, desejo.”

Observa-se das definições apresentadas anteriormente que a intenção não pode ser observada, sendo um conceito intangível que não pode ser diretamente medido por sensores. Ela deve ser obtida através da observação de outros aspectos

do mundo que se tornam indicadores da intenção. Para isso torna-se necessária a formulação de um modelo para analisar intenções relacionadas a uma determinada entidade.

A presença de apenas um desejo não é suficiente para executar-se a intenção. É necessária uma conjunção de circunstâncias favoráveis para que se tomem ações. As oportunidades tornam possível que alguém execute a sua intenção, considerando-se que possua algumas capacidades necessárias para tal. Isto é, uma oportunidade é a presença de um ambiente operacional no qual potenciais objetivos estão presentes e são susceptíveis de serem realizados.

A estimativa da intenção de adversários é a mais desafiadora tarefa na área de estimativas. A estimativa da intenção é feita baseada no conhecimento que se possui sobre a entidade cuja intenção deseja-se estimar. Caso não se disponha de muito conhecimento ou nenhum conhecimento a respeito da entidade pode-se considerar o pior caso possível [12].

IV - APLICAÇÕES

A vigilância de grandes áreas é um problema encontrado pelas forças armadas, sendo caracterizada pelo emprego de um conjunto de equipamentos móveis (por exemplo, aeronaves, helicópteros, veículos aéreos não tripulados, navios) e fixos (por exemplo, radares terrestres) para vigiar uma grande área geográfica a fim de identificar, avaliar e rastrear as entidades presentes neste ambiente.

A limitação dos recursos existentes para vigiar e combater ameaças em uma região tão vasta exige a aplicação de técnicas que permitam avaliar e priorizar as entidades que representam maior perigo para os recursos e entidades presentes no cenário. Devem-se priorizar os recursos e pontos vitais selecionados e priorizados como pontos ou áreas sensíveis em função de sua importância.

Os consumidores de informações de inteligência esperam ter disponibilidade de informações precisas e oportunas sobre as ameaças em suas áreas interesse. O processo para entregar produtos de inteligência estratégicos e operacionais geralmente é representado de forma cíclica, envolvendo a coleta, estimação, análise, integração e avaliação das informações coletadas.

A utilização de sistemas de Fusão de Dados de Alto Nível, onde se incluam técnicas de análise de inferências pode ser vista em vários cenários. A seguir são apresentados alguns possíveis cenários onde estes sistemas podem ser empregados:

1. Avaliação de ameaças em um sistema de defesa aeroespacial.
2. Avaliação de ameaças a embarcações de vigilância costeira.
3. Determinação da possibilidade da utilização de armas por uma aeronave de ataque realizando missões de vigilância.
4. Monitoramento de intenções de aeronaves em sistemas de controle de tráfego aéreo, através da análise de comportamentos não conformes de aeronaves, por

exemplo, quando se detecta desvios em relação ao plano de voo definido para aquela aeronave.

5. Detecção de ameaças em sistemas de informação, através da aplicação de técnicas de inferência que possibilitem a detecção de padrões de comportamentos que desviam do comportamento normal dos usuários do sistema, de forma a sugerir uma possível ameaça a segurança.
6. Detecção da intenção de condutores de veículos que estão circulando em rodovias, através da detecção e análise das manobras realizadas.
7. Auxílio aos sistemas de gerenciamento de voo, possibilitando a implantação do conceito de voo Livre (Free Flight). A análise de inferência é utilizada para inferir futuros caminhos e estados das aeronaves próximas, estimando trajetórias das aeronaves, eliminando assim situações de conflitos de trajetórias.
8. Entendimento da linguagem natural e inferência do significado contextual da fala de pessoas.

V. SAÍDAS DE UM SISTEMA DE FUSÃO DE DADOS DE ALTO NÍVEL

Como saídas de um sistema de Fusão de Dados de Alto Nível, podem-se enumerar as seguintes funcionalidades de inteligência:

1. Agregação de objetos: estabelecimento de relacionamentos entre os objetos, incluindo relacionamentos temporais, proximidade geométrica, enlaces de comunicação e dependência funcional.
2. Agregação de eventos e atividades: estabelecimento de relacionamentos entre diversas entidades no tempo para identificar eventos ou atividades mais significativos.
3. Fusão de informações de alto nível: análise de dados relacionada ao contexto da situação incluindo ambiente, estados do terreno, doutrinas entre outros aspectos. A análise do contexto é cada vez mais importante para tentarmos entender o comportamento das entidades no ambiente, e depende de abstrações, tais como intenções, que não podem ser medidas diretamente por sensores.
4. Representação de relatórios fornecidos por sensores e outras fontes de informação e seus relacionamentos com os objetos e entidades reportadas.
5. Fornecimento de hipóteses alternativas, na presença de incertezas, para descrever as possibilidades futuras dos eventos e comportamentos das entidades presentes no cenário.

O desenvolvimento de sistemas que suportem o processo de tomada de decisão constitui-se em dos grandes desafios para os processos de Fusão de Dados de Alto Nível. Na Figura 4 é apresentada uma possível arquitetura para este processo, onde o suporte a tomada de decisão é evidenciado.

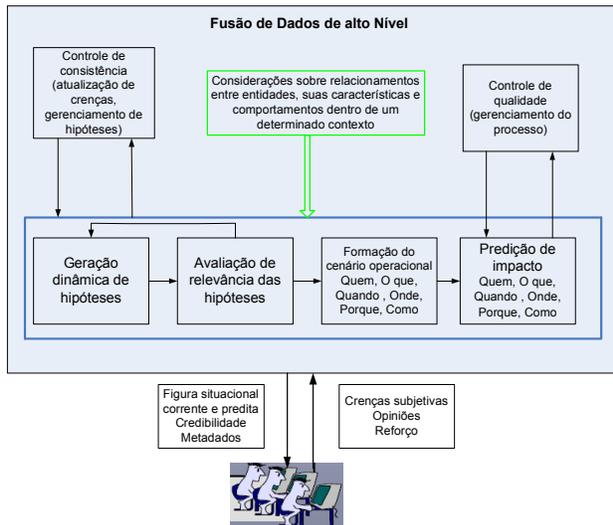


Fig 4: Fusão de dados de alto nível e suporte a tomada de decisão.

VI. PRINCIPAIS DESAFIOS NA ÁREA DE FUSÃO DE DADOS DE ALTO NÍVEL

Durante as últimas Conferências Internacionais de Fusão de Dados, organizadas pela International Society of Information Fusion (ISIF), foram realizados alguns painéis de discussão sobre os principais desafios existentes na área de fusão de dados. Estes painéis representam um espaço valioso para que a comunidade de fusão de dados possa trocar informações e debater sobre os principais desafios existentes na área. A seguir são apresentados alguns desafios identificados em painéis realizados nos últimos anos.

O painel da 8ª Conferência Internacional de Fusão de Dados (2005) apresentou os desafios mais comuns na área de Fusão de Dados de Alto Nível [13]:

1. Explicação do processo: considerando acumulação das evidências e contradições na representação do conhecimento e raciocínio.
2. Representação gráfica que facilite a visualização das cadeias de inferências, interação colaborativa e representação do conhecimento.

O painel da 9ª Conferência Internacional de Fusão de Dados (2006) focou na coordenação do gerenciamento de recursos, considerando a avaliação situacional e de ameaças.

O painel da 12ª Conferência Internacional de Fusão de Informações realizada em 2009 listou alguns desafios: Como modelar e controlar uma situação usando informações de contexto em um sistema de fusão de dados?, Quais são as métricas usadas para avaliar os sistemas de fusão de dados de alto nível? O que constitui as representações semântica, situacional, de conhecimento e de crenças?

O painel da 13ª Conferência Internacional de Fusão de Informações realizada em 2010 listou os seguintes desafios para a fusão de informações de alto nível:

1. Como modelar a fusão de informações de alto nível (situações, ambientes)

2. Como representar a informação obtida na fusão de informações de alto nível (semântica, conhecimento e complexidade)
3. Técnicas de projeto de sistemas (baseadas em cenário, baseadas em usuários, agentes distribuídos)
4. Estabelecer processos de suporte a decisão (**reasoning**, inferências e relacionamentos)
5. Introduzir métodos de avaliação (medidas de desempenho, efetividade, e estudos de casos empíricos)

VII. CONCLUSÕES

O cenário de interesse para os sistemas de Fusão de Dados de Alto Nível é constituído por entidades geograficamente distribuídas, dados heterogêneos e fragmentados (diferentes tipos de dados em muitos formatos provenientes de diversas fontes e em muitos pedaços), portanto representando grandes desafios para implementação destes sistemas.

Há inúmeros desafios que precisam ser superados. A necessidade de integração de sensores distribuídos, pessoas, máquinas e diversas fontes de informação fazem da fusão de dados de alto nível um desafio multidisciplinar. A adoção de arquiteturas que suportem o processo de tomada de decisão, como a proposta na Seção 5, é um aspecto crucial para o desenvolvimento de Sistemas de Fusão de Dados de Alto Nível.

Verifica-se que há a necessidade do desenvolvimento de uma teoria e de uma metodologia formal para a fusão de dados de alto nível, porém estes pontos ainda permanecem em aberto.

REFERÊNCIAS

- [1] D. Hall, B. D. Hellar, M. McNeese, J. Llinas, "Assessing the JDL Model: A Survey and Analysis of Decision and Cognitive Process Models and Comparison with the JDL Model", Proceedings of the National Symposium on Sensor Data Fusion (NSSDF), 2007.
- [2] A. N. Steinberg, C. L. Bowman, F. E. White, "Revisions to the JDL data fusion model", Proceedings of the SPIE 3719 (1999), p. 330-441.
- [3] D. A. Lambert, "A Blueprint for High-Level Fusion Systems", Information Fusion 10, 2009, p. 6-24.
- [4] "High Level Information Fusion Developments, Issues, and Grand Challenges", Panel Discussion, 13th International Conference on Information Fusion, Edinburgo, Escócia, 2010.
- [5] E. L. Waltz, "Information Understanding: Integrating Data Fusion and Data Mining Processes", Circuits and Systems, 1998. ISCAS'98. Proceedings of the 1998 IEEE International Symposium, vol. 6, 1998.
- [6] M. Solano, A. Ekwaro-Osire S. M. M. Tanik, "High-Level Fusion for Intelligence Applications Using Recombinant Cognition Synthesis", Information Fusion 2010.
- [7] J. Roy, "Combining Elements of Information Fusion and Knowledge-Based Systems to Support Situation Analysis", Proceedings of SPIE vol. 6242, 2006.
- [8] J. Roy, A. B. Gyuyard, "Multiple Hypothesis Situation Analysis Support System Prototype", 13th International Conference on Information Fusion, Edinburgo, Escócia, 2010.
- [9] A. N. Steinberg, G. Rogova, "Situation and Context in Data Fusion and Natural Language Understanding", 11th International Conference on Information Fusion. Cologne, Germany, 2008.
- [10] P. C. G. Costa, K. Chang, K. Laskey, T. Levitt, W. Sun, "High-Level Fusion: Issues in Developing a Formal Theory", Proceedings of the

Thirteenth International Conference of the Society of Information Fusion ([FUSION 2010](#)). July 26-29., Edinburgh, Scotland, UK, 2010.

- [11] J. J. Salerno, S. J. Yang, I. Kadar, M. Sudit, G. P. Tadda, J. Holsopple “Issues and Challenges in Higher Level Fusion: Threat/Impact Assessment and Intent Modeling (A Panel Summary)”, 13th International Conference on Information Fusion. Edinburgo, Escócia, 2010.
- [12] S. J. Yang, S. Byers, J. Holsopple, B. Argauer, D. Fava, “Intrusion Activity Projection for Cyber Situational Awareness,” in Proceedings of IEEE International Conferences on Intelligence and Security Informatics, Taipei, Taiwan, June 17-20, 2008.
- [13] E. Blash, I. Kadar, J. Salerno, M. Kokar, S. Das, G. Powell, D. Corkill, E. Ruspini, “Issues and Challenges in Situation Assessment (Level 2 Fusion)”, Journal of Advances in Information Fusion, vol. 1, n. 2, p. 122-139, December 2006.