

Processamento Inteligente de Sinais Aplicado ao Monitoramento Ambiental em Tempo Real

Francisco de Assis Tavares Ferreira da Silva (CEP/CRN)¹

Antonio Macilio Pereira de Lucena (CEP/CRN)²

^{1,2}Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE-MCT

^{1,2}{tavares, [macilio](mailto:macilio@roen.inpe.br)}@roen.inpe.br

Abstract. The work presents the development of an Intelligent Embedded System applied on Smart Sensors devices to be used in a next generation of Remote Sensing Satellites (SSR, Portuguese speaking). The proposal presents the majors aspects of a symbolic-connectionist approach concerning real-time environmental monitoring. The breadboard system will be implemented in high performance computing and reconfigurable hardware towards space qualification of new VLSI devices. The major objective is to insert new possibilities of Artificial Intelligence techniques joint to real time direct georeferencing to be embedded as aeronautics and satellite payloads. This proposal introduces an Adaptive Smart System model joint to an on-board GPS added to a specific geodatabase applied to *change detection and scenes interpretation* on real time earth observation tasks.

Palavras-chave: remote sensing, real-time, environment monitoring, data mining, intelligent signal processing, smart sensors, sensoriamento remoto, tempo real, monitoramento ambiental, mineração de dados, processamento inteligente de sinais, sensores inteligentes.

1. Introdução

A literatura da área de Sensoriamento Remoto apresenta importantes trabalhos sobre os esforços de vários países em direção ao desenvolvimento da tecnologia de Monitoramento Ambiental em tempo real. Isto pode ser observado, por exemplo, no projeto BIRD (Bi-spectral Infra-Red Detection-BIRD) da DLR (German Aerospace Research Establishment) (Brieß et al., 2000), além do projeto FOCUS (Oertel et al., 1996) pela DLR/NASA, e, também, o programa FUEGO (Escorial et al., 2001) pela ESA (European Space Agency) junto a um consórcio europeu liderado pela INSA (Ingeniería y Servicios Aeroespaciales).

Neste sentido, o Processamento Inteligente de Sinais (Haykin; Kosko, 2001), aplicado aos Sensores Inteligentes (Silva; Lucena, 2003), envolvendo a representação, detecção e análise de padrões em tempo real, tem mostrado ser de extrema importância em aplicações aeronáuticas e espaciais (Silva et al., 1990, Silva, 1992, Silva; Lucena, 2003 e Silva; Silva, 2004). Dentre os vários projetos e programas internacionais, no que concerne ao Sensoriamento Remoto próximo ao tempo real, constituídos pela adoção de tecnologia de Sensores Inteligentes, tem-se como referencia o satélite BIRD, cujo sistema de processamento inteligente embarcado é apresentado em Halle et al. (2002).

Conforme apresentado em Briess et al. (2003), o Satélite BIRD, já lançado com sucesso em 2001, tem apresentado bons resultados. No entanto, numa abordagem diferente da adotada no projeto BIRD (Halle et al., 2002), o qual utiliza o descontinuado NI1000 (Circuito Integrado contendo processador neural da Intel), o presente trabalho propõe à investigação de novas possibilidades tecnológicas, no que concerne ao monitoramento ambiental em tempo real, dentro de uma abordagem simbólico-conexionista (Silva; Lucena, 2003).

Este trabalho apresenta um sistema de processamento inteligente embarcado a ser considerado numa próxima geração de Satélites de Sensoriamento Remoto, principalmente quando aplicados ao *reconhecimento automático de padrões de desastres, poluição e mudanças ambientais, próximo ao tempo real*. No contexto do processamento embarcado,

este tipo de abordagem pode aproveitar as especificações similares aos sensores dos satélites tradicionais de Sensoriamento Remoto, por exemplo, da série CBERS e futuro SSR-1 do INPE (Rudorff et al., 2003), quando considerado o desenvolvimento de Sistemas de Alertas e Alarmes automáticos a serem *transmitidos diretamente ao usuário final*.

2. Considerações sobre processamento inteligente embarcado

Os primeiros resultados sobre o reconhecimento de padrões de queimadas e poluição ambiental, em tempo real, via Redes Neurais implementadas em hardware/firmware, embarcadas no satélite BIRD, podem ser observados em Briess et al. (2003). Por outro lado, a literatura da área de Processamento Inteligente de Sinais (Haykin; Kosko, 2001) e tecnologia de Sensores Inteligentes (Halle et al., 2002, Silva; Lucena, 2003), tem apresentado excelentes propostas em direção aos sistemas automáticos de alertas, principalmente considerando-se as heurísticas sobre a *mineração e fusão de dados de diferentes Sensores* (Chao et al., 2002).

O Processamento Inteligente de Sinais embarcado também possibilita otimizar a programação das várias operações de *validação de alertas e alarmes*, e, portanto, aumenta a autonomia do satélite nas tarefas de tomada de decisões (Brieß et al. 2000). Principalmente, quando considerado nas missões de alarme e alerta em curto prazo (Oertel et al., 1996). Neste contexto, sensores e transmissores dedicados podem demandar potência mais elevada, pois, em muitos casos, apenas *algumas imagens ou frames* de dados, incluindo *avaliação do evento ou mudanças nos cenários e respectivas coordenadas*, são necessários a este tipo de missão.

A possibilidade de mineração de dados e otimização da seleção dos *Imageadores*, implementada pela tecnologia de Processamento Inteligente de Sinais, também *pode propiciar o aumento do número de diferentes tipos de sensores dotados de maior resolução*. No entanto, a *sensível redução de custos de comunicação*, por curtos períodos de transmissão, deve resultar na *redução dos custos de recepção* do segmento solo e, também, dos custos das operações de telecomando e geração de produtos. Pois, uma sensível economia na transmissão de volumes de dados, dispensáveis ou redundantes, pode ser verificada, quando comparado à maioria dos satélites tradicionais de Sensoriamento Remoto, aplicados ao monitoramento ambiental em tempo real (Oertel et al., 1996; Brieß et al., 2000 e Briess et al., 2003).

A literatura da área de Inteligência Computacional, aplicada ao processamento de sinais, apresenta várias considerações envolvendo limitações, restrições e soluções sobre os problemas de representação e interpretação do mundo visual (Haykin; Kosko, 2001, Silva et al., 1990 e Ferreira et al., 1998). No entanto, a tarefa de interpretação de imagens, via Processamento Inteligente de Sinais (Haykin; Kosko, 2001), geralmente trata de um domínio restrito e pode ser realizada por processamento de informação, pela adoção de heurísticas bem definidas (Silva et al., 1990; Silva, 1992 e Ferreira et al., 1998).

Os requisitos de *mineração de dados*, via fusão de dados de imageamento em Sensoriamento Remoto (Chao et al., 2002), principalmente no que se refere aos sensores dotados de diferentes resoluções, demandam várias considerações sobre possíveis restrições, quanto às heurísticas, concernentes ao modelo de fusão de dados e respectivas inferências a serem adotadas de acordo com a missão a ser executada (Halle et al., 2002, Chao et al., 2002).

Algumas das dificuldades, inerentes ao processo de codificação destas heurísticas, podem ser contornadas, via, por exemplo, uma estrutura que permita caracterizar tanto a cena como também suas partes. Este é o caso do esquema de Quadros proposto por Minsky (1975), quando aplicado a Representação de Conhecimento de imagens e relações entre padrões (Minsky, 1975; Silva; Bittencourt, 1991 e Silva, 1992).

Porém, poucas implementações baseadas em sistemas simbólico-conexionistas, em hardware, destinadas ao processamento em tempo real, considerando-se redução de custo,

peso e volume, têm apresentado eficiência e robustez desejadas. Principalmente, tendo-se em vista a construção de dispositivos de alta performance e baixo consumo, com qualificação espacial (Bretschneider et al., 2004).

Um dos maiores desafios é à integração dos melhores paradigmas de Redes Neurais Artificiais-RNAs e Sistemas Especialistas-SEs, implementados em hardware e/ou firmware, os quais sejam capazes de aproveitar a tecnologia de VLSI, sem deixar de atender as restrições e robustez impostas nas aplicações em ambiente espacial (Bretschneider et al., 2004). A literatura da área de sistemas conexionistas, implementados em hardware, mostra que as redes neurais tipo RBFs (Haykin, 2000) são um dos paradigmas de RNAs mais explorados para implementação eficiente em VLSI (Halle et al., 2002 e Silva; Lucena, 2003).

Além dos problemas de inferência, outras tarefas concernentes às correções geométrica, radiométrica e atmosférica são imprescindíveis. Na maioria dos Sistemas tradicionais de Sensoriamento Remoto, tais tarefas são tratadas no *segmento solo* (Novo, 1998). No entanto, quando tratados a bordo do satélite, hardware e firmware especiais podem ser implementados, por exemplo, via chips FPGA/ASIC (do inglês Field Programmable Gate Arrays/Application Specific Integrated Circuits), DSPs (do inglês Digital Signal Processing) ou CPU dedicada ao processamento em tempo real (Halle et al., 2002 e Bretschneider et al., 2004).

Entretanto, as tarefas de reconhecimento e classificação de padrões, considerando-se o monitoramento ambiental em tempo real, podem enfrentar condições de imageamento adversas. Estes problemas são intrínsecos aos sensores imageadores sob várias condições atmosféricas junto à mecânica orbital. Isto inclui o apontamento em circunstâncias extremas de *visada*, sob diferentes condições de iluminação, além da diversidade de cenários da superfície a ser imageada, decorrentes, por exemplo, do relevo, das sombras de nuvens e da vegetação e acidentes geográficos, dentre as várias possíveis combinações destes fatores.

Portanto, tais problemas devem ser formulados e considerados dentro dos *requisitos da missão*, sob a perspectiva do usuário final (Zhou; Kaufmann, 2002), principalmente em tempo das especificações da carga útil. Pois, tais requisitos são parte das tarefas de Aquisição e Representação do Conhecimento, junto às heurísticas de *fusão de dados* e *inferências* sobre os contextos a serem considerados (Chao et al., 2002 e Silva; Lucena, 2003).

3. Sistema proposto

No presente trabalho, o processamento simbólico-conexionista é realizado pela composição ou hibridização de Sistemas Simbólicos (ex: Sistemas Especialistas-SE) e Adaptativos ou Conexionistas (ex: Redes Neurais Artificiais-RNAs), os quais são capazes de processar informação (Ferreira et al., 1998 e Silva; Lucena, 2003).

O sistema proposto, conforme pode ser observado na Figura 1, é um equipamento que pode ser dividido em cinco módulos a seguir: o Módulo I é composto por um Conjunto de Sensores^I (Imageadores), similar ao conjunto a ser usado no Satélite SSR-1 do INPE.

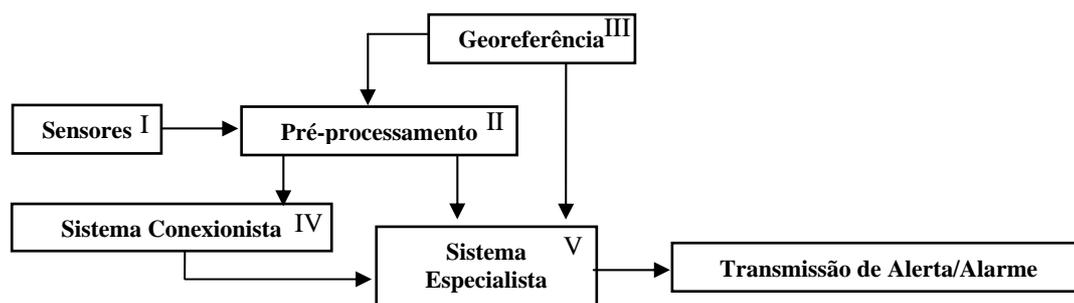


Figura 1. Diagrama dos Subsistemas.

Os Módulos II, III, IV e V são constituídos, respectivamente, pelo Pré-processamento^{II} implementado em FPGA e/ou via CPU dedicada (Bretschneider et al., 2004), Georeferência^{III} (Receptor de GPS+Sensores), similar ao apresentado em Gill et al. (2000) e Schneller (2003), um Computador Neural^{IV} (Silva; Lucena, 2003) e, por último, um Sistema Especialista-SE^V similar ao desenvolvido em Ferreira et al. (1998). O Computador Neural pode ser implementado por um conjunto de RNAs, tipo RBF (do inglês Radial Basis Function) conforme hardware apresentado e testado em Silva e Lucena (2003), ou por Redes Neurais Morfológicas-RNMs (Silva; Silva, 2004), as quais também podem ser implementadas em firmware tipo FPGA (Silva; Lucena, 2003).

Aqui os paradigmas de RNAs serão explorados no que concerne ao reconhecimento de padrões ou classes de padrões, enquanto que os SEs serão responsáveis pelo armazenamento e processamento simbólico. Nesta abordagem, o SE estrutura e processa os parâmetros de Georeferência Direta (via uma base de dados geográfica), junto as Regras dos especialistas da área de Sensoriamento Remoto, sobre a interpretação de cenas e tomada de decisões.

O Computador Neural, para os Modelos de Qualificação e de Vôo, será composto por vários processadores neurais independentes (Silva; Lucena, 2003), utilizando-se a tecnologia hard-bulk-CMOS, de acordo com o número de canais do conjunto de sensores, respeitando-se as normas de redundância e confiabilidade aplicadas aos sistemas espaciais embarcados (Martin, 1978; Laborde, 1983 e Bretschneider et al., 2004).

4. Processos e fluxo de dados do sistema proposto

A arquitetura do sistema, conforme apresentada na Figura 2, é composta de um módulo de processamento de sinais, aplicado ao pré-processamento para extração de objetos e respectivas coordenadas. Um sistema de reconhecimento e *agrupamento* ou clusterização baseado em RNA, junto a um sistema heteroassociativo implementado por buscas em tabela (Silva; Silva, 2004), e de um sistema especialista baseado em regras, cuja base de conhecimento é estruturada em *Quadros* similar ao apresentando em Ferreira et al. (1998).

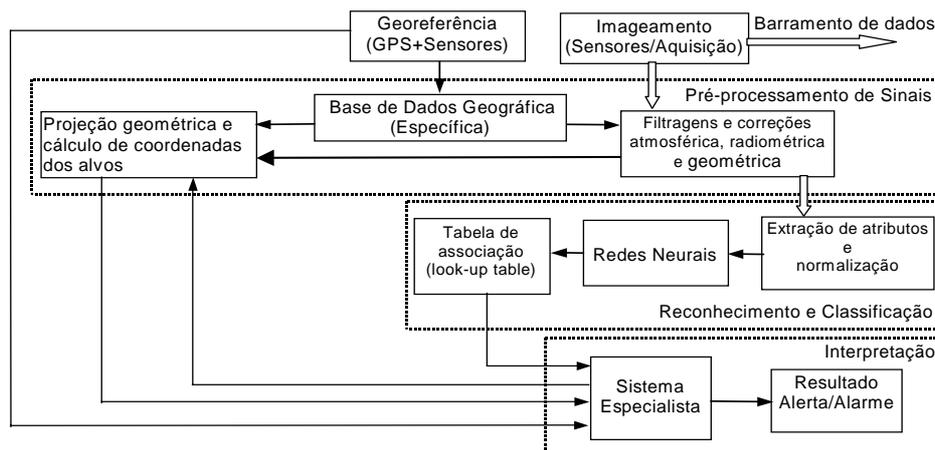


Figura 2 - Modelo simbólico-conexionista proposto

O sistema recebe inicialmente as linhas de imageamento como entrada. Em seguida, os pixels são processados via rotinas de filtragens e extração de características, as quais serão analisadas separadamente. Para cada pixel ou grupo de pixels, contendo atributos de interesse, são extraídas suas coordenadas, as quais serão utilizadas posteriormente pelo SE para auxiliar na interpretação das relações entre os padrões “mudanças, eventos ou fenômenos sob análise”.

Na etapa de reconhecimento de padrões, antes que os padrões sejam apresentados à rede neural, o problema de variação em escala (Ferreira et al., 1998) é contornado através da normalização dos padrões. Pois, em tempo de ativação, os padrões apresentados à rede neural deverão ter a mesma escala dos padrões pertencentes ao conjunto de treinamento.

Em seguida é utilizada uma *tabela de busca* (look-up table do inglês), a qual possibilita o *mapeamento* (associação) de um conjunto de valores de entrada, apresentados à rede, em um conjunto de valores, respectivos, de saída definidos em uma *tabela* (Silva; Silva, 2004). Esta possibilidade de heteroassociação é de fundamental importância, pois, na maioria das vezes, ao analisar uma cena, além de classificar um padrão como pertencente a uma determinada classe, é importante associá-lo a um código de alerta/alarme correspondente.

A próxima etapa é a interpretação das relações entre os objetos pertencentes à cena (imagem). Nesta etapa, é utilizado um sistema especialista a base de regras utilizando encadeamento para frente. A base de conhecimento, do domínio do problema, utiliza o esquema de quadros e mantém informações sobre os objetos “alvos”, os quais serão analisados dentro de possíveis relações previamente definidas (Ferreira et al., 1998).

Este modelo de quadros é capaz de manter em seus atributos os valores das coordenadas de cada *objeto*, grupos de pixels ou padrão, pertencente à imagem. A partir do reconhecimento de um padrão, um quadro é disparado, e inferências são orientadas pelas características do próprio alvo, e pelas coordenadas, dentre outros atributos, dos demais alvos.

O resultado do uso do sistema é um *frame de texto* (bloco de dados), contendo a descrição da cena em uma linguagem apropriada à missão. Nesta primeira abordagem, a missão concerne ao envio de alertas e/ou alarmes sobre os *alvos* ou *mudanças de cenas* de interesse.

Diferente do adotado em (Ferreira et al., 1998) e no modelo apresentado em (Silva; Lucena, 2003), é importante notar que o modelo aqui proposto também pode utilizar a rede morfológica aplicada à detecção de múltiplos padrões (Silva; Silva, 2004), além da busca em *tabela* para efetuar as associações, conforme apresentado na Figura 2. Neste caso, o uso combinado da tabela junto à rede morfológica é importante, pois isto permite explorar a capacidade de recuperar *múltiplos padrões*, com a propriedade de invariância a translação e rotação (Silva; Silva, 2004).

A possibilidade de adoção das Redes Morfológicas (Silva, 1998 e Silva; Silva, 2004) é importante para o problema em questão. Pois, além da capacidade de detecção de múltiplos padrões (Silva; Silva, 2004), ao digitalizar-se uma imagem pode ocorrer à presença de ruídos, isto demanda o reconhecimento de padrões imperfeitos (Silva, 1998). Uma outra motivação para se usar as redes morfológicas é a possibilidade de *controle de classificação ou agrupamento* (Silva, 1998 e Silva; Silva, 2004) de dois ou mais objetos "semelhantes" como pertencentes à mesma classe.

5. Funcionamento do sistema

O Sistema Especialista proposto é adaptado do trabalho apresentado em Ferreira et al. (1998), no entanto, no presente trabalho, este Sistema Especialista-SE deverá coordenar também as operações de cálculos de coordenadas (ex.: cálculos sobre georeferência via uma base de dados geográfica) executados sobre os dados provenientes do Conjunto de Sensores e do Sistema de Posicionamento Global (GPS) conforme já introduzido em Silva e Lucena (2003).

Em tempo de aquisição e análise dos dados, o SE, implementado por regras específicas, deverá avaliar os padrões reconhecidos e emitir a certificação de alarme ou alerta sobre os diversos eventos de interesse (Silva; Lucena, 2003). Alguns detalhes sobre a viabilidade do

pré-processamento embarcado, aplicado ao monitoramento ambiental em tempo real, podem ser observados no projeto do satélite BIRD (Brieß et al., 2000 e Halle et al., 2002).

O módulo GPS, similar ao desenvolvido para o Satélite BIRD (Brieß et al., 2000), será usado para auxiliar na navegação (Gill et al., 2000) e na geração de referência aproximada de coordenadas do alvo, ou *apontamento de alvos* (Schneller, 2003), tarefas estas também conhecidas como *georeferência direta*. Isto deverá simplificar as inferências do SE, quanto à localização de alvos, quando comparado ao sistema proposto em Ferreira et al. (1998). Pois, além de auxiliar a navegação autônoma, o GPS pode fornecer pontos de referência (ex. nadir) ao SE, o qual, via projeções de visada sobre o alvo, permite inferir a localização aproximada onde ocorrem possíveis catástrofes ou eventos de interesse, sob regras predefinidas.

O fluxo de dados é compartilhado entre o barramento de comunicação e o sistema proposto, conforme já introduzido em Silva e Lucena, (2003). Isto é, inicialmente, a Interface de Aquisição do sistema de imageamento realiza a amostragem dos sensores, *empacota* e envia os dados, via o *barramento de dados*, para o *equipamento de comunicação* do satélite (Novo, 1998). No entanto, antes do *empacotamento*, os dados também são encaminhados ao módulo de pré-processamento do sistema simbólico-conexionista, conforme já introduzido em Silva e Lucena (2003). Detalhes sobre imageamento, incluindo aquisição, barramento de dados e comunicação em satélites de Sensoriamento Remoto, dentre outros, podem ser obtidos em Novo (1998), Martin (1978) e Laborde (1983).

O empacotamento dos dados, a serem armazenados e/ou enviados as estações de tratamento em terra, pode ser realizado por um sistema semelhante ao implementado nos satélites da série CBERS, conforme já introduzido em Silva e Lucena (2003), ou pela adoção de novas especificações via novos SSRs (Rudorff et al., 2003) a serem desenvolvidos.

Nesta proposta, além de alimentar o *sistema de comunicação* do satélite (Novo, 1998), os dados também são submetidos ao módulo de Pré-processamento, ao Computador Neural e, também, ao SE. Estes dispositivos operam continuamente analisando todos os pixels ou grupos de pixels que estão trafegando pelo *barramento de aquisição* (Novo, 1998), na busca de *assinatura espectral* (padrão específico) correspondente aos eventos de interesse. Uma ilustração do sistema em atividade, num cenário hipotético de monitoramento em tempo real, pode ser observado na Figura 3, a seguir:

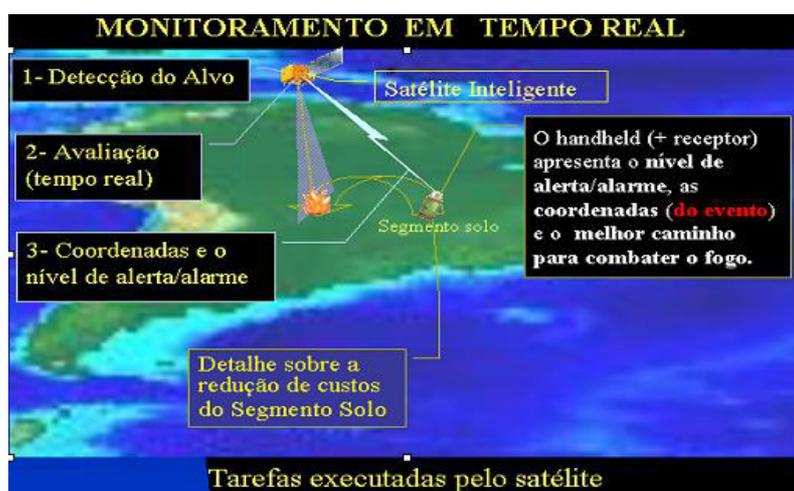


Figura 3. Ilustração do Sistema em operação.

No modelo proposto, independente da tecnologia connexionista, o Computador Neural será responsável pela *detecção de padrões* (do inglês template matching), e deverá ser

embarcado com um treinamento *básico* (treinamento realizado em terra) sobre *fusão de dados de sensores* aplicada, inicialmente, a *deteção de mudanças de cenários* como, por exemplo, devido ao desmatamento, e *reconhecimento automático de queimadas e poluição ambiental*.

Além do treinamento inicial, outros possíveis treinamentos em vôo também podem ser realizados. São treinamentos sob novas condições prioritárias, não previstas em tempo de aquisição de conhecimento ainda em terra. Portanto, surgem possibilidades de atualização de novos parâmetros importantes, sobre padrões específicos, os quais possam ser detectados durante a vida útil do Satélite.

6. Comentários e perspectivas

O presente trabalho, inspirado nos respectivos projetos e programas BIRD (Brieß et al., 2000), FOCUS (Oertel et al., 1996) e FUEGO (Escorial et al., 2001), apresenta novas perspectivas de monitoramento ambiental em tempo real. Pois, além da flexibilidade de adaptação em satélites, sondas espaciais e aeronaves de reconhecimento. Esta abordagem também pode ser o elo de integração entre o Sensoriamento Remoto orbital e aeronáutico, quando, por exemplo, os satélites dotados deste sistema poderiam sinalizar alertas e alarmes, automaticamente e em tempo real, diretamente para *aeronaves de reconhecimento*, numa forma de monitoramento em múltiplas resoluções, ou vigilância orbital/aeronáutica integrada.

A proposta envolve três aspectos críticos, sobre a introdução da tecnologia de processamento simbólico-conexionista embarcado. O primeiro concerne à interface entre módulos e as tarefas sobre “mineração e fusão de dados de sensores”, isto é, a análise simultânea de informações provenientes de diferentes sensores. O segundo ponto está relacionado à qualificação espacial de novos sistemas conexionistas, constituídos pela adoção da tecnologia de FPGAs e/ou ASIC. O terceiro, não menos complexo, está relacionado às tarefas de Reconhecimento de Padrões em tempo real, sob diversas condições de automação das tarefas de *classificação de imagens* e respectivas *inferências* sobre padrões específicos.

Este último aspecto é concernente ao problema de *registro e reconhecimento temático* (ex.: obtenção de georeferência e reconhecimento de padrões considerando-se temas específicos), o qual deverá ser solucionado pelo SE acoplado a um GPS+dados geográficos. Esta abordagem deverá permitir, também, novas possibilidades sobre o registro de eventos ambientais. Isto inclui o monitoramento e proteção dos recursos hídricos naturais ou não.

A presente proposta motiva também à utilização de outros tipos de sensores, via dispositivos ativos (ex: radar), junto ao Processamento Inteligente Embarcado. Pois, a propriedade adaptativa, inerente aos Sistemas Conexionistas, deverá permitir efetuar outras missões como, por exemplo, a deteção e acompanhamento de alvos tipo vórtices, e, também, de manchas de petróleo lançado ao mar, dentre vários outros alvos relativos a defesa nacional.

Nesta primeira abordagem, o sistema proposto utilizará as implementações de chips conexionistas comerciais e firmware dedicado na implementação dos SEs. No entanto, a metodologia de geração de FPGAs/ASICs, proveniente dos formalismos matemáticos, está sendo investigada. Isto, sob a perspectiva das várias opções de geração de VHDL/firmware, via linguagens algébricas, como, por exemplo, através do ambiente Matlab/Simulink.

Um sistema completo, aplicado ao monitoramento em tempo real, poderia ser implementado via uma Constelação de Satélites de Sensoriamento Remoto-SSR integrada a um sistema de aeronaves de vigilância/proteção ambiental. No entanto, possíveis aplicações em Sondas Espaciais, Plataformas Orbitais ou em Aeronaves de Reconhecimento, também serão consideradas. Por exemplo: Sistemas de monitoramento integrados, via satélites geoestacionários, ou em Sistemas inteligentes embarcados em aeronaves não tripuladas, aplicados ao reconhecimento e avaliação, em tempo real, de áreas consideradas estratégicas.

Referências

- Silva, F. A. T. F.; Oliveira, C. A.; Bittencourt, G. Uma representação de conhecimento para processamento e interpretação de imagens. **Anais da Jornada EPUSP/IEEE em Computação Visual**. São Paulo-SP, pp. 165-176, 1990.
- Ferreira, S.; Sandri S. e Silva, F. A. T. F. Um modelo híbrido para o reconhecimento e interpretação das relações entre os objetos em uma cena. **Anais do Congresso Brasileiro de Automática**. Uberlândia - MG: v.cd., pp.1-6, 1998.
- Minsky, M. **A Framework for Representing Knowledge**. In: The Psychology of Computer Vision, P. Winston (ed), McGraw-Hill, New York, pp. 211-277, 1975.
- Silva, F. A. T. F. e Bittencourt, G. Uma representação de conhecimento para a interpretação de imagens de fenômenos meteorológicos. **Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial**. Brasília-DF, pp. 83-88, 1991.
- Brieß, K., Bärwald, W., Gerlich, T., Jahn, H., Lura, F., Studemund, H. The DLR Small Satellite Mission BIRD. In: **Proceedings on International Academy of Astronautics Journal**, Vol. 46, No. 2-6, pp. 111-120, 2000.
- Oertel, D.; Tank V.; Haschberger, P.; Zhukov, B.; Jahn, H.; Briess, K.; Knuth, R.; Lorenz, E.; v. Schoenermark, M. FOCUS: Environmental Disaster Recognition System, **ESA Symposium Proceedings on Space Station Utilisation**, ESOC, Darmstadt, Germany, pp. 593-598, 1996.
- Escorial, D.; Tourne, I. F.; Reina, F. J. FUEGO: A dedicated constellation of small satellites to detect and monitor forest fires. **3rd IAA Symposium on Small Satellites for Earth Observation**, Sec. B-601, Berlin, Germany, 2001. 4p.
- Chao, W.; Jishuang, Q.; Zhi, L. Data fusion, the core technology for future on-board data processing system. In: **Proceedings on Land satellite information IV/ISPRS Commision I/FIEOS**, 2002. 6p.
- Briess, K.; Jahn, H.; Lorenz, E.; Oertel, D.; Skrbek, W.; Zhukov, B. Fire recognition potential of the bi-spectral Infrared Detection (BIRD) satellite. **International Journal of Remote Sensing** (Taylor & Francis Ed.), Vol. 24, N. 4, pp. 865 – 872, Feb. 20, 2003.
- Haykin, S. **Redes Neurais: Princípios e prática**, 2ª Ed., Bookman, Porto Alegre, RS, 2000. 900 p.
- Laborde, B. **Command and Data Handling On-board Satellites**. CNES, Toulouse, pp. 390-400, 1983.
- Martin, J. **Communications Satellite Systems**, Prentice-Hall, New Jersey, pp. 90-98, 1978.
- Rudorff, B. F. T.; Kono, J.; Silva, M. M. Q.; Shimabukuro, Y. E. O Satélite de Sensoriamento Remoto SSR-1 para monitoramento da Amazônia. **Anais do XI-SBSR, Belo Horizonte**, Brasil, pp. 2359 – 2365, abril, 2003. INPE.
- Haykin, S. and Kosko, B. **Intelligent Signal Processing**, IEEE Press and John Wiley & Sons, NY-USA, 2001, 576 p.
- Novo, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações**. Ed. Edgard Blücher, 2ª Edição, S. Paulo, Brasil, 308p. 1998.
- Silva, F.A.T.F. **Rede Morfológica Não Supervisionada-RMNS**. Tese (Doutorado em Computação Aplicada), INPE-8759-TDI/800, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998.
- Silva, F.A.T.F. A hybrid formalism for representation and interpretation of image knowledge. In: **Proceedings of XVII ISPRS - International Society for Photogrammetry and Remote Sensing**, v.7. pp. 810 – 815, Washington-DC, Aug., 1992.
- Silva, F.A.T.F.; Lucena, A.M.P. Sensores Inteligentes: Uma abordagem Simbólico-Conexionista. **Anais do VI-Congresso Brasileiro de Redes Neurais**, Centro Universitário da FEI, São Paulo-SP, pp. 415-420, junho, 2003.
- Halle, W., Brieß, K., Schlicker, M., Skrbek, W. and Venus, H.. Autonomous onboard classification experiment for satellite BIRD. In: **Proceedings on International Society for Photogrammetry and Remote Sensing**, Nov., Denver-CO USA, 2002. 6p.
- Schneller, M. Target Pointing of the BIRD spacecraft via ground in the loop attitude control. In: **Proceedings on 17th International Symposium on Space Flight Dynamics**, Session 10, Moscow, Russia, Jun., 2003
- Gill E., Montenbruck O.; Terzibaschian T. An Autonomous Navigation Small Satellite Mission BIRD. **Advances in the Astronautical Sciences**, Vol. 105, 10th AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting, AAS 00-122, Florida 23-26 Jan., 2000.
- Zhou, G.; Kaufmann, P. On-Board Geo-Database Management in Future Earth Observing Satellites. **Proceedings of ISPRS Vol. XXXIV, Part 1, Commission 1, Integrating Remote Sensing at the Global, Regional, and Local Scale**, Denver, CO, Nov., 2002. 5p.
- Bretschneider, T.; Ramesh, B.; Gupta, V.; McLoughlin, I. Low-cost space-borne processing on a reconfigurable parallel architecture, **Proceedings of the International Conference on Engineering of Reconfigurable Systems and Algorithms**, pp. 93-99, 2004.
- Silva, F.A.T.F.; Silva, L.A. Detecção de múltiplos padrões usando redes neurais morfológicas. **Anais do Congresso Brasileiro de Automática**, A8-Sistemas Inteligentes, S0801, v. cd., pp. 1-6, RS, Brasil, 2004.