

# Satélites inteligentes aplicados ao monitoramento ambiental em tempo real

Francisco A. Tavares F. da Silva<sup>1</sup>; Antonio Macilio Pereira de Lucena<sup>2</sup> (CEP/CRN) Grupo de Processamento Inteligente de Sinais, INPE-MCT  
Estrada do fio, 6000, Tupuiu, CEP: 61760-000, Eusébio-CE  
e-mail: <sup>1</sup>tavares@roen.inpe.br; <sup>2</sup>macilio@roen.inpe.br

**Abstract**— The work presents a proposal of an Intelligent System based on Smart Sensors devices to be used in a next generation of Real Time Remote Sensing Satellites. The proposal presents the majors aspects of a symbolic-connectionist approach concerning real-time environmental monitoring. The breadboard intelligent subsystems 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.

**Index Terms**—Hybrid systems, intelligent satellite, on board processing, real time remote sensing, smart sensors, space technology, symbolic-connectionist approach.

## I. INTRODUÇÃO

A LITERATURA da área de Sistemas Inteligentes, aplicados à área espacial, tem apresentado importantes trabalhos sobre os esforços de várias nações em direção ao desenvolvimento da tecnologia de Monitoramento Ambiental em tempo real.

Isto pode ser observado, por exemplo, nos projetos dos Satélites BIRD (Bi-spectral Infra-Red Detection-BIRD), da DLR (Agência Espacial da Alemanha) [1], e EO-1 (Earth Observation-1) da NASA [25], e, também, pelos projetos e respectivos programas do Sistema FOCUS [2], pela DLR/NASA, e FUEGO [3] pela ESA (European Space Agency), junto a um consórcio europeu liderado pela INSA (Ingeniería y Servicios Aeroespaciales).

Os primeiros resultados sobre o reconhecimento de padrões de queimadas e poluição ambiental, em tempo real, via RNAs implementadas em hardware/firmware, podem ser observados em Briess et al. [4] e Halle et al. [5]. Por outro lado, a literatura da área de Processamento Inteligente de Sinais [7] e tecnologia de Sensores Inteligentes [3,6,19,25], 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* [12].

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 [1]. Principalmente, quando considerado nas missões de alarme e alerta em curto prazo [2].

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.

O Processamento Inteligente de Sinais [7], aplicado aos Sensores Inteligentes [6,25], envolvendo a representação, detecção e análise de padrões em tempo real, tem mostrado ser de extrema importância em aplicações aeronáuticas e espaciais [8, 9, 10].

Dentre os vários projetos e programas internacionais, no que concerne ao Sensoriamento Remoto próximo ao tempo real, constituído por satélites inteligentes, tem-se como referencia o satélite BIRD, cujo sistema de processamento inteligente embarcado é apresentado em [4,5].

O presente trabalho apresenta uma proposta de Sistema Inteligente embarcado inspirada nos trabalhos de Briess et al. [4], Silva e Lucena [6,25] e Damiani et al. [19], a ser considerado numa próxima geração de Satélites de Sensoriamento Remoto. Este tipo de satélite inteligente deverá ser aplicado ao *reconhecimento automático de padrões de desastres, poluição e mudanças ambientais, próximo ao tempo real*.

No contexto do processamento embarcado em satélites, esta 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 [11], quando considerado o desenvolvimento de Sistemas de Alertas e Alarmes automáticos a serem *transmitidos diretamente ao usuário final*.

## II. INTRODUÇÃO AO PROCESSAMENTO INTELIGENTE EMBARCADO

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 [1,2,3,4,5,6,25].

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 [7,8,9,13]. No entanto, a tarefa de interpretação de imagens, via Processamento Inteligente de Sinais [7], geralmente trata de um domínio restrito e pode ser realizada por processamento de informação, pela adoção de heurísticas bem definidas [8,9,10,13].

Os requisitos de *mineração de dados*, via fusão de dados de imageamento em Sensoriamento Remoto [12], 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 [5,12,25].

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 [14], quando aplicado a Representação de Conhecimento de imagens e relações entre padrões [8,9,14,15].

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 [16].

Um dos maiores desafios é à integração dos melhores paradigmas de Redes Neurais Artificiais-RNAs e Sistemas Baseados em Conhecimento Simbólico, 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 [16].

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* [17].

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 [5,16].

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 [18], 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 [6,12,25].

### III. SISTEMA PROPOSTO

No presente trabalho, diferente do satélite BIRD [4,5] e das propostas anteriores [6,25], o processamento simbólico-conexionista é realizado pela composição de sensores de detecção [19], três grupos de sensores imageadores, e pela hibridização de Sistemas Simbólicos (ex: Sistemas Baseados em Conhecimento) e Sistemas Conexionistas, os quais são capazes de processar informação [6,13,25].

O sistema proposto, conforme pode ser observado na Figura 1, é um equipamento que pode ser dividido em seis módulos a seguir:

O Módulo I é composto por um conjunto de Sensores tipo Detectores<sup>I</sup>, similar ao *instrumento de detecção* proposto em [19]. O Módulo II é implementado por um conjunto de Sensores de imageamento, e, também, por um Conjunto de Atuadores e respectivos Espelhos similares ao apresentado em [19]. Porém, o sistema proposto é composto por três conjuntos de Espelhos e Sensores Imageadores, os quais, analisados individualmente, cada um destes, é similar ao *instrumento de observação* já analisado em [19].

O Módulo III é implementado pelo Pré-processamento<sup>III</sup> via FPGA/ASIC e/ou via CPU dedicada [16]. Este subsistema, dotado de uma Base de Imagens (memória Flash), é responsável pela filtragem e correções atmosférica, radiométrica e geométrica.

O Módulo IV ou sistema de Georeferência<sup>IV</sup> (Receptor de GPS+Sensores), é um dispositivo similar ao apresentado em Gill et al. [20] e Schneller [21].

Os Módulos V e VI respectivamente são implementados por um Computador Neural<sup>V</sup> [6,25], e por um Sistema Baseado em Conhecimento-SBC<sup>VI</sup>, similar ao desenvolvido em Ferreira et al. [13].

Aqui os paradigmas de RNAs serão explorados no que concerne ao reconhecimento de padrões ou classes de padrões, enquanto que o SBC é responsável pelo armazenamento e processamento simbólico.

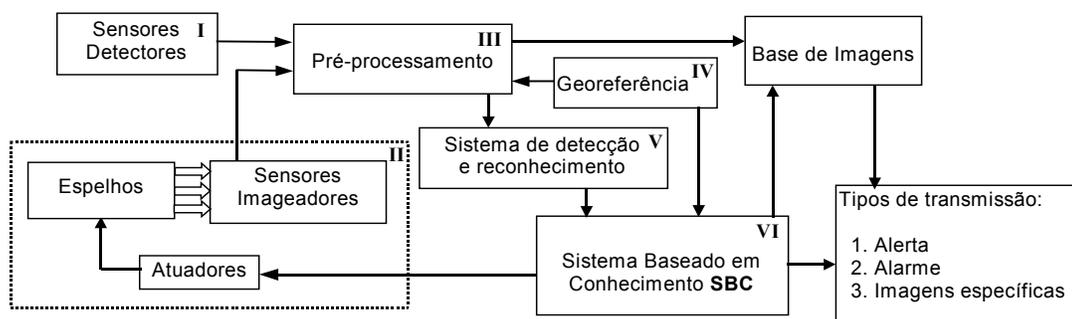


Figura 1. Diagrama dos Subsistemas.

Nesta abordagem, o SBC 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 pode ser implementado por um conjunto de RNAs, tipo RBF (do inglês Radial Basis Function) conforme hardware apresentado e testado em Silva e Lucena [6,25]. No entanto, diferente de Silva e Lucena [6,25], pretende-se utilizar Redes Neurais Morfológicas-RNMs já introduzidas em Silva e Silva [10], 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 [16,22,23].

#### IV. 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 [10], e de um Sistema Baseado em Conhecimento estruturado em *Quadros*, similar ao apresentado em Ferreira et al. [12].

O módulo de pré-processamento recebe inicialmente as linhas do sensor de detecção. Em seguida, os pixels são processados via rotinas de filtragens e extração de características para determinação das respectivas coordenadas. A partir da georeferência, do nível de intensidade e das coordenadas dos pixels, ou grupo de pixels, o SBC aciona o subsistema de atuadores, para o ajuste dos espelhos dos sensores de observação.

Para cada pixel ou grupo de pixels, contendo atributos de interesse, são extraídas suas coordenadas, as quais serão utilizadas posteriormente pelo SBC para auxiliar na interpretação das relações entre os padrões tipo “mudanças de cenários, 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 [13] 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* [10]. Esta possibilidade de *heteroassociação* [10] 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 o SBC, baseado em 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 [13].

Este modelo de quadros é capaz de manter em seus atributos os valores das coordenadas de cada *objeto*, grupos de pixels ou padrões, 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.

O maior diferencial, da presente proposta, é o satélite utilizar um sistema simbólico conexionista aplicado à mineração de dados e, após a análise dos padrões, em tempo real, emitir alertas e alarmes diretamente ao usuário final.

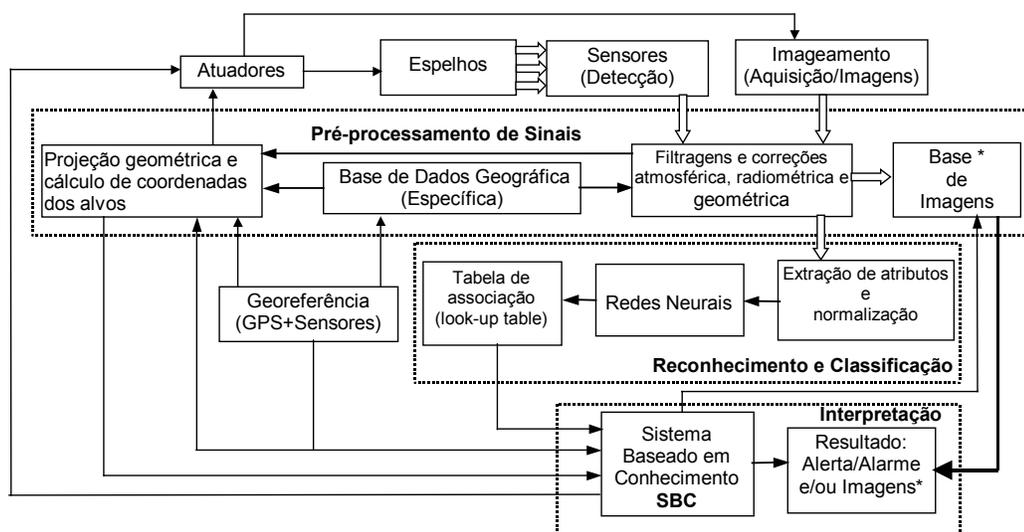


Figura 2. Modelo Simbólico-Conexionista.

Diferente do adotado em Ferreira et al. [13] e no modelo apresentado em Silva; Lucena [6,25], é importante notar que o modelo, aqui proposto, também pode utilizar a rede morfológica aplicada à detecção de múltiplos padrões [10], 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, permite explorar a capacidade da recuperação de *múltiplos padrões*, considerando-se também a propriedade de invariância a translação e rotação [10]. A possibilidade da recuperação de múltiplos padrões, da RNA apresentada em Silva e Silva [10], também facilita a  *fusão dados*, pois, o paralelismo desta rede [10] deverá facilitar o gerenciamento de múltiplos sensores.

Uma outra motivação para se usar as redes morfológicas é a possibilidade de *controle de classificação ou agrupamento* de dois ou mais objetos "semelhantes" como pertencentes à mesma classe [10], principalmente quando é observado o fato da inserção de ruídos durante o processo de aquisição, o que demanda o reconhecimento de padrões imperfeitos [10].

Por outro lado, na presente proposta, independente da tecnologia connexionista, o Computador Neural será responsável pela *detecção de padrões* (do inglês *template matching*), o qual deverá ser embarcada com um treinamento básico (treinamento realizado em terra) sobre fusão de dados de sensores [6,25]. No entanto, diferente do introduzido em Silva e Lucena [6,25] e em Damiani et al. [19], a presente proposta fará uso do sistema apresentado em Silva e Silva [10].

Conforme já introduzido em [6,25], além do treinamento inicial, outros possíveis treinamentos em vô 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.

## V. FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

O SBC proposto é adaptado do trabalho apresentado em Ferreira et al. [13], no entanto, no presente trabalho, este Sistema Simbólico 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 [4,5,6,25].

Em tempo de aquisição e análise dos dados, o SBC, implementado por regras específicas, deverá avaliar os padrões reconhecidos e emitir a certificação de alarme ou alerta sobre os diversos eventos de interesse [5,6,25]. Alguns detalhes sobre a viabilidade do *pré-processamento* embarcado, aplicado ao monitoramento ambiental em tempo real, podem ser observados no projeto do satélite BIRD [1,4,5].

O módulo GPS, similar ao desenvolvido para o Satélite BIRD [1], será usado para auxiliar na navegação [20] e na geração de referência aproximada de coordenadas do alvo, ou *apontamento de alvos* [21], tarefas estas também conhecidas como *georeferência direta*. Isto deverá simplificar as inferências do SBC, quanto à localização de alvos, quando comparado ao sistema proposto em Ferreira et al. [13].

O fluxo de dados é compartilhado entre o barramento de comunicação e o sistema proposto, conforme já introduzido em Silva e Lucena [6,25]. 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 [17].

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 [6,25], ou pela adoção de novas especificações via novos SSRs [11] a serem desenvolvidos.

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 [6,25]. Detalhes sobre o imageamento, incluindo aquisição, barramento de dados e comunicação em satélites de Sensoriamento Remoto, dentre outros, podem ser obtidos em Novo [17], Martin [22] e Laborde [23].

Os sensores detectores operam continuamente analisando todos os pixels ou grupos de pixels que estão sendo adquiridos, num processo similar ao apresentado em Damiani et al. [19]. Enquanto que os sensores imageadores são ativados quando o SBC aciona os Atuadores/Espelhos e, então adquire os dados que estão trafegando pelo *barramento de aquisição* similar ao apresentado em Silva e Lucena [6,25]. Nesta etapa, é efetuada uma 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:

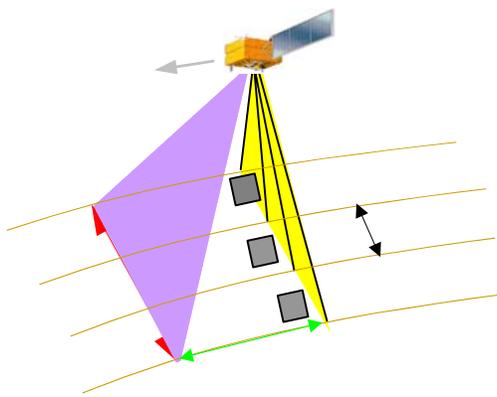


Figura 3. Ilustração do sistema proposto.

Na Figura 3, pode-se observar a cota em vermelho, a qual representa a largura de *visada* dos sensores detectores. Para uma órbita de 700 Km de altitude, esta *visada*, dos sensores detectores, pode chegar a 2400 Km [19].

Enquanto que a cota em verde representa a distância entre a *visada* dos sensores detectores e dos sensores de imageamento. O ângulo apropriado para uma inclinação de 30°, na faixa em roxo, corresponde a 400 Km entre a visada de detecção e a visada de imageamento, cota verde, isto deverá permitir um tempo de 60 segundos de processamento [19], entre a detecção e possíveis áreas a serem imageadas (retângulos cinzas).

A cota em preto representa a projeção da *varredura* horizontal, de visada dos espelhos de cada grupo de Sensores imageadores, a qual pode chegar a 800 km por faixa, no modo de redundância desativado, ou a 2400 Km quando o modo de redundância é ativado.

No modo de redundância ativado, o sistema se comporta de forma similar ao sistema proposto por Damiani et al. [19], no entanto, a presente abordagem ganha em robustez, pois

continua a trabalhar mesmo diante de alguma falha em algum grupo de sensores.

Um estudo detalhado sobre a utilização da composição de conjuntos de Sensores (Detectores e Imageadores), via processamento embarcado, é apresentado por Damiani et al. [19]. No entanto, diferente de [19], o presente trabalho propõe um sistema contendo três grupos imageadores, como pode ser observado nas três faixas em amarelo na Figura 3.

Dada a disponibilidade dos três grupos de sensores, em lugar de um grupo conforme o proposto em [19], este sistema deverá propiciar maior robustez e melhor performance, uma vez que, na presente proposta, o tempo de varredura pode ser reduzido em até 1/3, quando comparado ao sistema apresentado em [19]. Além do ganho em robustez, no caso da falha de algum sensor de imageamento, é possível um aumento do tempo de processamento via a redução do tempo de ajustes dos espelhos.

## VI. COMENTÁRIOS E PERSPECTIVAS

O presente trabalho, inspirado nos respectivos projetos e programas BIRD [1], FOCUS [2], FUEGO [3] e nos trabalhos de pesquisa apresentados em Damiani et al. [19] e Silva e Lucena [6,25], apresenta novas perspectivas de monitoramento ambiental em tempo real, via Satélites Inteligentes.

Pois, além da flexibilidade de adaptação em sondas espaciais e aeronaves de reconhecimento, esta abordagem também pode ser o elo de integração entre o Sensoriamento Remoto orbital e aeronáutico.

Diferente do sistema proposto em Silva e Lucena [6,25], este futuro satélite, dotado de um sistema simbólico-conexionista, poderá detectar, reconhecer e avaliar múltiplos alvos [10], em uma única passagem. Isto permite, por exemplo, tomar decisões sobre o imageamento e a mineração de dados e, conseqüentemente, transmitir imagens específicas, alarmes e alertas para o segmento solo, para um outro satélite, ou para alguma aeronave de observação, a ser acionada em casos onde o satélite não foi capaz de gerar um resultado satisfatório.

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 connexionistas, 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 SBC 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 detecção 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 SBCs [6,25]. No entanto, a metodologia de geração de FPGAs/ASICs, proveniente dos formalismos matemáticos, está sendo investigada [10,16]. Isto, sob a perspectiva das várias opções de geração de VHDL/firmware, simulada via linguagens algébricas, como, por exemplo, através do ambiente Matlab/Simulink.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Faculdade 7 de Setembro FA7, Fortaleza-CE, pelo ambiente acadêmico e apoio no desenvolvimento das pesquisas relativas a área de Inteligência Artificial.

#### REFERÊNCIAS

- [1] 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
- [2] 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 Utilization, ESOC, Darmstadt, Germany, pp. 593-598, 1996.
- [3] 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.
- [4] 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..
- [5] 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..
- [6] 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.
- [7] Haykin, S. and Kosko, B. Intelligent Signal Processing, IEEE Press and John Wiley & Sons, NY-USA, 2001, 576 p.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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 Commission I/FIEOS, 2002. 6p.
- [13] 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.
- [14] Minsky, M. A Framework for Representing Knowledge. In: The Psychology of Computer Vision, P. Winston (ed), McGraw-Hill, New York, pp. 211-277, 1975.
- [15] 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.
- [16] 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
- [17] Novo, E. M. L. M. Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações. Ed. Edgard Blücher, 2ª Edição, S. Paulo, Brasil, 308p. 1998
- [18] 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.
- [19] Damiani, S.; Verfaillie, G.; Charneau, M.C. A continuous Anytime Planning Module for an Autonomous Earth Watching Satellite. Proceedings on 4th International Workshop on Planning and Scheduling for Space, ESA-ESOC, Darmstadt, Germany, June, 2004, p. 10.
- [20] 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
- [21] 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.
- [22] Martin, J. Communications Satellite Systems, Prentice-Hall, New Jersey, pp. 90-98, 1978.
- [23] Haykin, S. Redes Neurais: Princípios e prática, 2ª Ed., Bookman, Porto Alegre, RS, 2000. 900 p
- [24] Laborde, B. Command and Data Handling On-board Satellites. CNES, Toulouse, pp. 390-400, 1983.
- [25] Tran, D.; Chien, S.; Sherwood, Castaño, R. R.; Cichy, B.; Davies, A.; Rabideau, G. “The Autonomous Sciencecraft Experiment Onboard the EO-1 Spacecraft”. Proceedings of AAAI, on the third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi Agent Systems, 1040-1041, 2004.
- [26] Silva, F.A.T.F.; Lucena, A.M.P. Silva Processamento Inteligente de Sinais aplicado ao Monitoramento Ambiental em Tempo Real. Anais do XII-Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia-GO, abril, 2005, 8p.