

*The study of the approximation problem in the general case is preceded by the study of some particular cases. The first of these cases is that of the Laguerre filters, corresponding to the utilization of the Laguerre functions and sequences in the approximation of  $h$ . This case is studied with considerable detail, being presented some original results that are of great practical interest.*

*The observation that the Laguerre series expansions are equivalent to Laurent series expansions lead us to suggest the combination of two or more of these expansions to improve the speed of convergence (to zero) of the squared error of the approximation. The orthonormalization of the functions or sequences involved in this kind of approximations give rise to the Kautz functions and sequences, which in turn give rise to the Kautz filters.*

*After the study of another particular case, corresponding to the combination of two Laguerre filters with complex conjugate poles, the general case is studied, for which we have found a very elegant mathematical formulation.*

---

**Título:** Estruturas de Computação para Processamento de Imagem em Tomografia

**Title:** Computational Structures for Image Processing in Tomography

**Autor/Author:** António Rui de Oliveira e Silva Borges

**Orientador/Advisor:** António Ferrari de Almeida

**Data Apresentação/Acceptance Date:** 02/95

**Palavras Chave:** Reconstrução tomográfica, algoritmos de convolução, multiprocessamento, topologias MIMD, sistemas operativos.

**Key Words:** Tomographic reconstruction, convolution algorithms, multiprocessing, MIMD topologies, operating systems.

**Doutoramento/Ph.D.**

---

### Resumo

O trabalho descrito nesta tese centra-se na investigação de uma estrutura computacional paralela, de tipo MIMD, para reconstrução de imagem em tomografia de transmissão de raios-X e tomografia de emissão simples. O principal objectivo a atingir foi a obtenção de bons desempenhos a baixo preço de maneira a que se torne possível uma redução importante nos custos da parte computacional.

Embora diversos métodos de reconstrução sejam estudados, uma atenção especial é devotada ao algoritmo das retroprojeções filtradas, tendo para o efeito sido desenvolvida uma *package* de simulação, já que se pretendeu basear nele a solução a apresentar.

As propriedades de paralelismo no tempo, inerentes a esta classe de algoritmos, levaram a considerar topologias de processamento de memória distribuída onde se procura estabelecer uma correspondência tão perfeita quanto possível entre as diferentes etapas de cálculo e os diversos nós do sistema. No entanto, a noção de paralelismo no espaço não foi abandonada, tendo-se sempre procurado

algoritmos que viabilizassem a transformação de cada etapa de cálculo numa organização passível de decomposição num conjunto de processos, mais ou menos independentes, executados em paralelo.

A arquitectura de processamento escolhida pode ser descrita como constituindo um sistema distribuído de memória partilhada em que a sincronização e comunicação entre processos residentes em módulos de processamento distintos se realiza preferencialmente por um esquema de passagem de mensagens, implementado localmente por variáveis partilhadas.

Um executivo distribuído de passagem de mensagens foi desenvolvido e instalado em cada um dos módulos de processamento do sistema. O seu elemento principal é um gestor de comunicações, formado por sete processos de sistema que cooperam entre si de modo a fornecer ao utilizador um controlo tão alargado quanto possível sobre a execução das diferentes tarefas.

Uma preocupação mantida ao longo de todo o processo foi promover condições que permitissem criar ao programador de aplicações um 'interface' simples e eficiente com o ambiente operacional, facilmente incorporável no desenho das suas aplicações distribuídas.

Assim, optou-se por construir uma biblioteca de extensão para a linguagem C em que estão disponíveis três classes principais de primitivas: primitivas de comunicação e sincronização entre processos baseadas em mensagens, primitivas de reserva e libertação de espaço em memória comum e primitivas de sincronização para acesso a recursos comuns, definidos pelo utilizador, também em memória comum.

Um sistema formado por quatro módulos de processamento e quatro memórias comuns foi construído para avaliar a adequação da arquitectura proposta à reconstrução tomográfica. Os resultados obtidos permitiram verificar um ganho na velocidade de cálculo de cerca de 3 relativamente à versão sequencial.

Extrapolações efectuadas permitiram ainda concluir que se o número de módulos de processamento for aumentado, um ganho de quase mais uma ordem de grandeza pode ser conseguido.

### Abstract

*This work describes the design of a parallel computing system, MIMD type, suited for image reconstruction in X-ray transmission tomography and single photon emission tomography. The main requirement was to accomplish a good price/performance trade-off so that strong cost reductions might be possible.*

*While several reconstruction methods are examined, special attention is devoted to the filter-backprojection algorithm. A simulation package has been specifically developed, since it was decided to base the solution in it.*

*Time parallelism properties, which are typical of this class of algorithms, have led to contemplate distributed memory topologies where one tries to assign the different computational stages to different system nodes along the information flow. However, the consideration of space*

*parallelism was not put aside. One of the greatest concerns was to look for algorithms which could organise each computational stage in a structure that enabled a parallel implementation through a group of processes run in a more or less independent way.*

*The chosen architecture may be described as constituting a distributed shared memory topology where synchronisation and communication among processes residing in different processing nodes is mainly carried out by a message-passing scheme, implemented locally through shared variables.*

*A distributed shared memory executive was developed and installed in each of the system processing nodes. Its main component is the communication manager, a group of seven system processes which cooperate closely in order to present the user with a friendly environment for the as wide as possible control of the different tasks under execution.*

*Another concern kept all along the design stage was to create a simple and efficient interface with the operational environment that the application programmer could easily incorporate into his or her distributed applications.*

*Thus, an extension library to the C language was built which offers three main classes of system calls: message-based process communication and synchronisation, shared memory space allocation and freeing and common user-defined resources synchronisation, also in shared memory.*

*A system with four processing nodes and four common memories was built to assess the suitability of the proposed architecture for tomographic reconstruction. Results obtained show a processing speed gain of about 3, when one compares to the sequential version of the same algorithm run in one of the processing nodes.*

*Extrapolation studies that were carried out also show that if the number of processing nodes is increased, a speed gain of almost an order of magnitude may be achieved.*

determinado diagnóstico, conduzir uma terapia ou efectuar um estudo pré e/ou pós-operatório. Embora existam desde a introdução destas modalidades programas que fazem a análise e visualização dos dados gerados, só muito recentemente, com a banalização de computadores com grande poder de cálculo, é que se tem vindo a explorar a vertente de representação tridimensional (3D) das estruturas clínicas sob análise.

Começa-se por fazer um levantamento das estratégias existentes para visualização 3D de dados volúmicos discretos, semelhantes aos que são fornecidos pelas modalidades imagiológicas. Avaliam-se os operadores e metodologias necessárias para construir uma solução de visualização 3D adequada à realidade clínica. As soluções existentes para visualização 3D são classificadas em dois grupos. Os métodos que detectam e trabalham unicamente com a superfície o objecto sob estudo constituem um dos grupos, os métodos ditos de geração de superfície. O outro grupo é composto pelos métodos que manipulam, detectam e representam as estruturas existentes no volume, sempre a partir do volume original, os métodos ditos de representação de volume. Estudadas e avaliadas as várias estratégias, apresenta-se uma solução híbrida que, permite por um lado explorar a interactividade com uma representação de superfície e por outro, levada precisão com uma representação de volume, no segundo caso utilizando uma técnica do tipo *raycaster*. O programa que se implementou e descrito nesta tese, traduz a nossa perspectiva de um visualizador 2D/3D de dados imagiológicos. O tempo de processamento demasiado longo de algumas tarefas envolvendo os dados imagiológicos levou-nos a procurar uma solução com arquitecturas e topologias para processamento paralelo. A topologia em *farm* apresenta-se como a mais apropriada para os dados e tarefas em causa, tendo sido efectuados testes de eficiência utilizando uma rede de *transputers*.

Conscientes de que começa a ser prática corrente o recurso a exames multimodais para elaborar ou confirmar um diagnóstico, prosseguimos o trabalho tendo como objectivo a resolução dos problemas que surgem pelo facto de se possuir vários volumes discretos de modalidades diferentes. Apresentam-se soluções para o registo, fusão e visualização 2D/3D de informação multimodal de uma forma integrada. Efectuamos o estudo de três casos contendo dois volumes, um de TAC e outro de SPECT, para demonstrar a importância da visualização 3D multimodal integrada, ainda que aliada a uma representação clássica, em 2D, dos cortes tomográficos.

A tese encontra-se dividida em 5 capítulos e 3 apêndices. Começa com a introdução onde é apresentado o tema e a problemática envolvente. No capítulo 2, multimodalidade, após a descrição das modalidades que utilizamos, é feito um levantamento das metodologias e operadores necessários à visualização 3D num contexto multimodal, sendo também abordados temas relacionados com arquitecturas paralelas e atributos de um interface. No capítulo seguinte é feita a avaliação e discussão de: (i)

---

**Título:** Processamento, Integração e Visualização de Imagens Multimodais

**Title:** *Process, Integration and Visualization of Multimodal Images*

**Autor/Author:** Óscar Emanuel Chaves Mealha

**Orientadores/Advisors:** António Sousa Pereira e Beatriz Sousa Santos

**Data Apresentação/Acceptance Date:** 06/95

**Palavras Chave:** Visualização 2D/3D, multimodalidade, modalidades tomográficas, imagiologia médica.

**Key Words:** *2D/3D visualization, multimodality, tomographic modalities, medical imaging.*

**Doutoramento/Ph.D.**

---

### Resumo

As modalidades imagiológicas tomográficas existentes actualmente são um instrumento, por vezes, imprescindível para se elaborar e/ou consolidar