

## Abstract

The European Laboratory for Particle Physics (CERN) in Geneva foresees in the year 2005 the construction of a new particle's accelerator, the Large Hadron Collider (LHC). Two general purpose High Energy Physics Experiments, CMS and ATLAS, will study the LHC collisions and will try to explore nature's most fundamental questions. Typically with several tens of meter long, these experiments are both huge in size and complexity and can not be compared with any particle physics experiment done so far. Catching 800 million collisions each second these detectors impose stability requirements in the order of tens of a micron in structures with several meters length.

Therefore, future High Energy Physics experiments require the use of light and stable structures to support their most precise radiation detection elements. These large structures must be light, highly stable, stiff and radiation tolerant in an environment where external vibrations, high radiation levels, material ageing, temperature and humidity gradients are not negligible [1]. Unforeseen factors and the unknown result of the coupling of environmental conditions, together with external vibrations, may affect the position stability of the detectors and their support structures, thus compromising their physics performance [2]. Shape control of the supporting structures and alignment systems, as well as, effective damping of vibrations are engineering design problems that should be considered and which support and justify the approach presented in this work [3]. The need of an optimisation algorithm able to solve efficiently these problems without imposing a high number of requirements and restrictions lead us to opt for Genetic Algorithms. Based in the natural evolutionary process of human beings and on the survival-of-the-fittest, Genetic Algorithms are stochastic optimisation techniques mainly used when the search space is large and when a near-optimal solution is sufficient. By exploiting the knowledge contained in old solutions (reproduction and crossover) and by changing information in a random way (mutation), these methods are quite powerful and easy to implement.

In this work, a new methodology, based in Genetic Algorithms, is applied to the solution of two different classes of optimisation problems: shape control and vibration control of adaptive structures. After a general overview of the most commonly used materials for sensing and actuating and of the mathematical formulation and optimisation methodology used, two main applications will be presented and discussed.

The first application consists in finding the best set of actuation voltages applied to piezoelectric patches placed on a structure in order to achieve a certain pre-defined shape. Different boundary conditions and different structures were considered. The initial algorithm was also slightly modified in order to accommodate the determination of the optimal location of the piezoelectric actuators for shape control purposes. The model was investigated numerically and experimentally verified. Measurements were carried out using a non-contact capacitive displacement sensor, as well as, Electronic Speckle Pattern Interferometry (ESPI). The second application is related with the optimal placement of collocated sensors/actuators for the purpose of free vibration's damping. The weighted sum of the closed loop damping ratios is used as a measure of the performance of the system and a constant gain feedback control methodology is assumed. The proposed procedure, based on genetic algorithms and on the finite element method, is quite flexible since it allows the optimisation of the piezoelectric placement considering one single vibration mode or a combination of several modes. Collocated sensors and actuators were adopted. This collocation enhances robustness and stability in feedback resulting in an easier controller design. The strain energy fraction distribution within the structure was used for cross checking the results. The validation of the developed methodology is finally completed with some experimental tests.

The two methodologies previously described, and concerning the optimal placement of piezoelectric elements for shape and vibration control, are then applied to a real structure: a 2.5 meter sandwich disk supporting the alignment system of one of the future particle detectors. Main conclusions and considerations about future work finalise this thesis.

**Keywords:** Genetic Algorithms, Shape Control, Vibration Control, PZT

## Resumo

O Laboratório Europeu de Física das Partículas (CERN), em Genebra, projectou construir em 2005 um novo acelerador: o Large Hadron Collider (LHC). Duas grandes experiências, CMS e ATLAS, irão estudar as colisões que se produzirão no LHC com o objectivo de responder a questões fundamentais relativas à natureza das partículas. Ambas as experiências, quer em dimensão, quer em complexidade, não se assemelham a nenhuma outra existente presentemente. Capazes de detectar 800 milhões de colisões por segundo estes novos detectores impõem requisitos de estabilidade na ordem dos micron em estruturas com alguns metros de dimensão.

Assim sendo, o uso de estruturas leves, estáveis, rígidas e tolerantes à radiação, para suporte dos diversos elementos sensíveis às partículas em ambientes com grandes variações de temperatura e humidade e na presença de vibrações, é indispensável [1], [2].

O controlo da forma e das vibrações destas estruturas é um problema de engenharia actual que motiva e suporta o trabalho desenvolvido nesta tese [3]. A necessidade de um processo de optimização capaz de resolver eficazmente este problema sem impor grande número de restrições levou-nos a optar pelos Algoritmos Genéticos. Baseados na teoria evolucionista das espécies e na sobrevivência do mais forte, os Algoritmos Genéticos constituem técnicas de optimização estocástica usadas essencialmente quando o domínio é vasto e quando uma solução aproximada é suficiente. Baseando-se na informação de soluções anteriores e trocando informação aleatoriamente estes algoritmos são muito funcionais e fáceis de implementar.

Uma nova metodologia, baseada nos Algoritmos Genéticos, é aplicada na resolução de dois tipos de problemas de optimização: controlo da forma e das vibrações livres das estruturas adaptativas. Após a apresentação dos materiais mais comuns utilizados em estruturas inteligentes, da formulação matemática e do processo de optimização usados, as duas aplicações serão discutidas em pormenor.

A primeira aplicação consiste em determinar a posição e a voltagem a aplicar a um número máximo de actuadores piezocerâmicos, colados numa estrutura, de modo a deformá-la de uma maneira pré-definida. A validação experimental da metodologia foi feita utilizando duas técnicas distintas: medição localizada dos deslocamentos com um sensor capacitivo sem contacto e medição no espaço através de uma técnica de interferometria óptica (ESPI).

A segunda aplicação está relacionada com o controlo das vibrações livres usando sensores e actuadores piezocerâmicos. A soma ponderada dos coeficientes de amortecimento dos diversos modos de vibração é utilizada como a função de optimização a maximizar. A metodologia desenvolvida para a determinação da localização dos sensores e actuadores piezoeléctricos é bastante flexível na medida em que a optimização do posicionamento pode ser feita considerando um único modo ou uma combinação ponderada dos diversos modos de vibração. Os resultados obtidos foram comparados com a distribuição da energia de deformação interna modal. A validação da metodologia foi completada com alguns testes experimentais suplementares.

As duas metodologias desenvolvidas e anteriormente descritas foram aplicadas a uma estrutura real: o disco de suporte, com um diâmetro de 2,5 metros, do sistema de alinhamento de um dos futuros detectores de partículas. O trabalho realizado termina com a apresentação das conclusões principais e algumas considerações sobre desenvolvimentos futuros.

**Palavras Chave :** Algoritmos Genéticos, Controlo da Forma, Controlo de Vibrações, PZT.