



- [3] Cowley, A. and Fawcett, M.A.
The analysis of machine tool structure by computing techniques.
8 th MTDR Conference, 1967 - McMillan
- [4] Taylor, S. and Tobias, S.A.
Lumped constant, methods for the prediction of the vibration characteristics of machine tool structures.
5 th MTDR Conference, 1964 - McMillan, p. 37
- [5] Lirani, J.
Substructuring techniques in the analysis of partially coated structures.
Ph. D. Thesis, UMIST, November 1978.
- [6] Porto, A.J.V.
FECPRO: Manual do usuário
FEESC-USP, Publicação Interna, 1980.

ANAI S		COBEM 81 VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECANICA RIO DE JANEIRO, 15 - 18 de dezembro de 1981	PUC/RJ 
TRABALHO	N.º D-9	P.P. 85 - 94	PUC/RJ
PAPER			

GECORI - UM MÓDULO DE GERAÇÃO DE COORDENADAS

Edison da Rosa
Professor Assistente - Deptº Eng. Mecânica
CT/UFSC - Florianópolis - SC

Clovis Sperb de Barcellos
Professor Titular - Deptº Eng Mecânica
CT/UFSC - Florianópolis - SC

SUMÁRIO

Um módulo específico para gerar coordenadas nodais em malhas uni, bi e tridimensional está descrito ao longo do presente trabalho. Este modelo está sendo incorporado ao sistema SIMELF de elementos finitos, aumentando consideravelmente a capacidade operacional do referido sistema.

SUMMARY

In this paper a specific set of subroutines for nodal coordinates generating is described. This set is incorporating to the SIMELF system of finite elements, considerably growing the operational capacity of the after mentioned system.

1 - Introdução

Em estruturas ou componentes estruturais espaciais o volume de informações envolvido na entrada de dados necessário para qualquer programa de elementos finitos é um entrave ao seu uso. Desta forma é necessária a geração automática de dados, reduzindo o trabalho do usuário, bem como a chance de erros. Por outro lado, muitas vezes um simples esquema de geração linear é deficiente, quando a forma geométrica a ser modelada é complexa. Desta forma, a segunda versão do módulo de geração de coordenadas do sistema SIMELF | I | baseia-se no conceito de interpolação, considerando o domínio a ser discretizado como um superelemento isoparamétrico. Assim, o algoritmo se fundamenta no mapeamento do domínio real, no espaço xyz , em uma região regular padrão no espaço rst . Assim uma superfície curva fica representada por um quadrado no espaço rst e um volume é mapeado em um cubo. Este esquema de geração permite que formas complexas sejam geradas com relativa facilidade, pelo fornecimento de algumas poucas informações.

2 - A Metodologia de Geração

De uma forma geral, as coordenadas de um ponto qualquer, que pertença a um elemento isoparamétrico, são obtidas como

$$\begin{aligned} x &= N_i x_i \\ y &= N_i y_i \\ z &= N_i z_i \end{aligned} \quad (1)$$

onde as funções de interpolação são calculadas no ponto de coordenadas intrínsecas B_i , ponto homólogo ao ponto de coordenadas (x, y, z) .

Considerando agora a região no espaço, a qual deve ser subdividida em um certo número de elementos finitos, pode-se empregar o mapeamento para definir as coordenadas dos pontos intermediários, já que estas coordenadas podem ser obtidas pelo uso das equações (1), bastando definir as coordenadas intrínsecas do ponto homólogo. A determinação das coordenadas

intrínsecas é feita facilmente, já que no espaço rst a região fica definida entre pontos de coordenadas $+1$ e -1 . Interpolando agora entre estes valores, tem-se as coordenadas intrínsecas do ponto intermediário. Retornando ao espaço xyz , pela transformação do mapeamento, as coordenadas reais são obtidas. A superfície gerada é de grau igual ao grau da formulação isoparamétrica usada para o processo de geração. Como as coordenadas no SIMELF são geradas segundo um sistema subestrutural, é possível usar este processo para gerar malhas segundo os sistemas retangular, cilíndrico ou esférico, já que a interpolação é feita segundo $x; y; z; R; \theta; z$ ou $R; \theta; \phi$, respectivamente. A interpolação pode ser linear ou então segundo um esquema não linear, com uma alteração do intervalo entre elementos consecutivos. Assim, é possível gerar uma malha como a ilustrada na figura 1, fornecendo apenas as coordenadas dos quatro vértices.

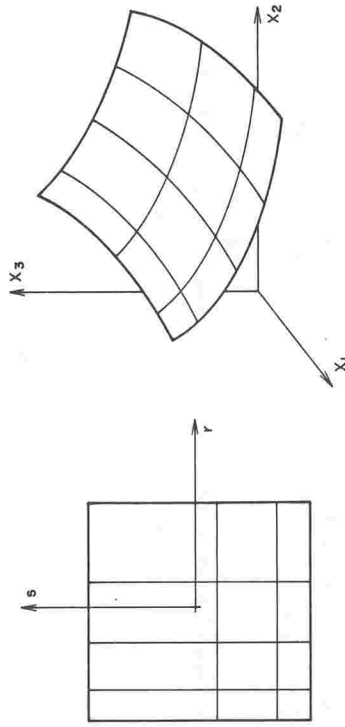


Figura 1 - Coordenadas intrínsecas geradas por interpolação linear e coordenadas globais obtidas por mapeamento quadrático.

3 - O Processo

O processo de geração desenvolvido está descrito para o caso tridimensional, onde o domínio espacial é particionado em elementos finitos de domínios volumétricos, já que o caso bidimensional está embutido no procedimento espacial. Um fluxo operacional do processo está apresentado na figura 2,

ilustrando as diversas etapas do processo, que são detalhados a seguir

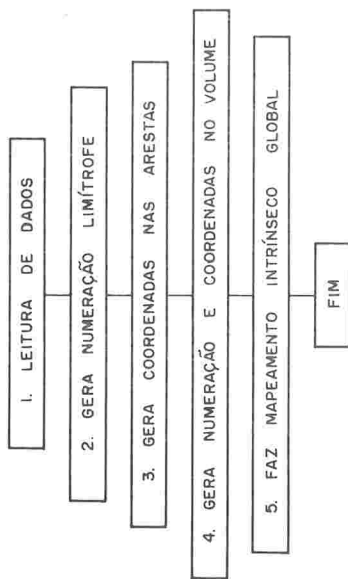


Figura 2 - Fluxograma operacional para gerar dados em um volume.

Na primeira etapa são lidos os dados necessários, como números de elementos em cada direção, o número de pontos intermediários dos elementos, que pode ser diferente segundo a direção, o tipo de progressão usada no cálculo dos comprimentos das arestas dos elementos (progressão aritmética ou progressão geométrica), a razão da progressão, que também pode diferir conforme a direção, a numeração do nó inicial, o tipo de função de mapeamento a ser utilizada, o tipo de sistema de coordenadas e finalmente as coordenadas globais dos pontos que definem o domínio.

A segunda etapa gera a numeração de todos os pontos nodais que situam-se sobre as arestas do domínio, informação esta arquivada na matriz MAR, usada na etapa seguinte.

Com o números de elementos em cada direção conhecido, a terceira etapa obtém as coordenadas intrínsecas de todos os pontos situados sobre as arestas. Deve ser observado que no caso do elemento conter pontos intermediários nas arestas, estes são posicionados fazendo uma divisão uniforme dos comprimentos das arestas, ou seja, apenas o comprimento do elemento é que segue a progressão selecionada.

A quarta etapa usa as informações geradas anteriormente para determinar as coordenadas dos pontos restantes. Inicialmente são obtidas as coordenadas dos pontos das quatro faces paralelas ao eixo intrínseco r , pela subrotina COPLA. O procedimento está detalhado no apêndice. Com estas coordenadas geradas, o interior do volume é calculado considerando a intersecção de uma superfície interna, definida por quatro pontos nas arestas paralelas ao eixo r , com uma reta definida por pontos nas faces normais ao eixo r . Esta intersecção é feita pela subrotina ISUPRE.

A última etapa faz o mapeamento do sistema rst para o sistema global adotado, seja o cartesiano retangular, cilíndrico ou esférico.

4 - Resultados

Estão descritos abaixo dois exemplos de aplicação do módulo de geração de coordenadas, um para um caso tridimensional e o outro para o caso bidimensional, onde são discutidas algumas das potencialidades do processo usado para definir as coordenadas.

4.1 - Exemplo

A figura 3 mostra o resultado obtidos na solução de um domínio espacial, onde foram gerados 27 elementos e 208 nós. As informações necessárias para o processamento foram:

- Número de elementos em cada uma das três direções geradas, NI, NJ, NK, respectivamente 3, 3 e 3.
- Número de pontos intermediários nas arestas que os elementos possuem, em cada direção. IP, JP, KP, respectivamente 1, 1 e 1.

- Percentual que fornece a razão da progressão que define o comprimento dos elementos em cada uma das direções, IPERC, JPERC, KPERC, respectivamente -30, 0 e 0.
- Tipo de progressão usada. No caso progressão aritmética.
- Número do nó inicial, NOI=1.
- Tipo de função de interpolação usada no mapeamento.
- Foi especificada uma formulação baseada na família serendipity de segundo grau.
- Finalmente coordenadas globais dos pontos que irão definir o domínio e permitirão o mapeamento. Estes pontos estão assinalados na figura 3.

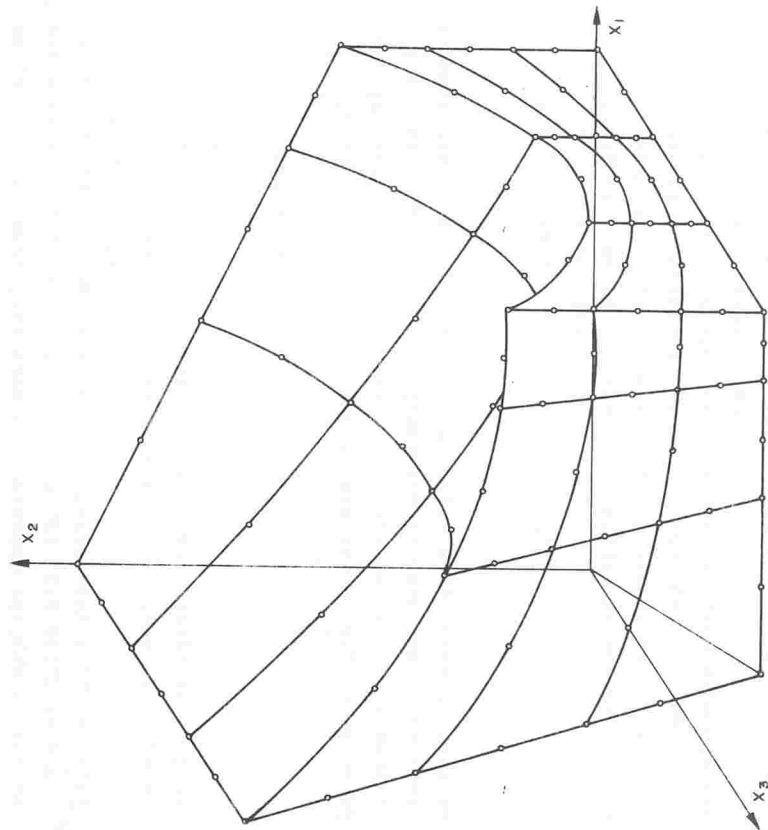


Figura 3 - Exemplo 1.

4.2 - Exemplo

A figura 4 ilustra uma outra possibilidade de alterar o grau de refino da malha, além do uso das progressões. As progressões afetam o cálculo das coordenadas intrínsecas, ficando o refino constante em uma dada direção, ou seja, as arestas paralelas a uma direção possuem comprimentos iguais, quando no espaço rst. Outra forma de alterar o refino é mudando agora as coordenadas globais dos pontos intermediários que definem o volume. Na figura 4a foram usados os pontos intermediários das arestas 1 e 3 com posições intermediárias entre os pontos extremos. Na figura 4b os dois pontos intermediários foram deslocados para uma posição mais próxima do vértice comum às arestas 1 e 3. Isto tem como efeito uma distorção na malha gerada, pois estes nós intermediários possuem como coordenadas intrínsecas (0;-1) e (-1;0) e logo quando do mapeamento houve a distorção mencionada.

Os dados fornecidos para gerar as duas configurações foram:

- Número de elemento NI=3, NJ=3.
- Número de pontos intermediários IP=1, JP=1.
- Interpolação quadrática.
- Os pontos que definiram o domínio estão assinalados na figura 4.

5 - Conclusões

O módulo de geração automática de coordenadas apresentado é uma extensão de um módulo já existente no Sistema SIMELF, melhorando sensivelmente a capacidade de análise de modelos tridimensionais. No entanto, o módulo descrito não é a versão final pois existem algumas opções que serão introduzidas brevemente. Uma destas é o desenvolvimento de funções de interpolação que permitam o mapeamento segundo uma superfície elipsoidal, pois as funções atualmente disponíveis interpolam em uma superfície parabólica. Assim, para situações onde temos contornos elípticos (ou circulares) o módulo não é aplicável, a menos que o mapeamento pudesse ser feito

to segundo um sistema de coordenadas esférico ou cilíndrico.

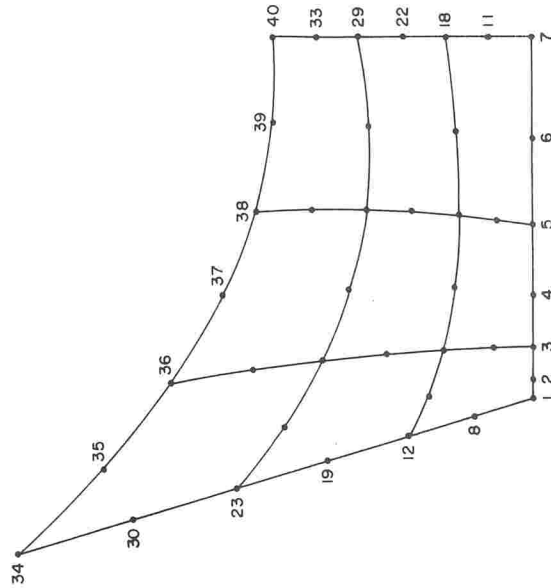
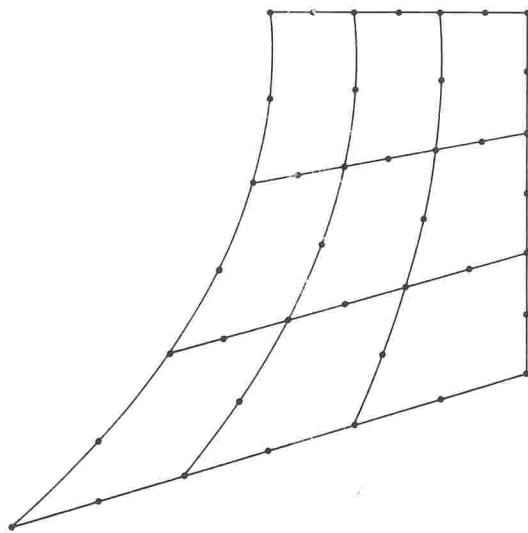


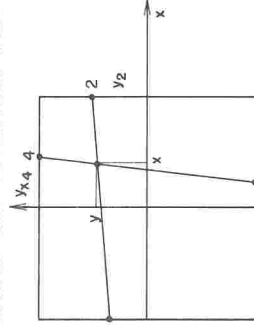
Figura 4 - Exemplo 2.

REFERÊNCIAS

- 1 - Barcellos, C. S., Rosa, E. da - Arquitetura de um sistema Modular de Elementos Finitos. Parte I e II. V COBEM. Volume D, pp 78-87 e 181.190.
- 2 - Buel, W.R., Bush, B.A. Mesh Generation a Survey. Journal of Engineering for Industry. February 1973 pp. 332 - 338.
- 3 - Herrmann, L. R. Laplacian Isoparametric Grid Generation Scheme. Transaction ASCE, Vol. 102, Nº EM5, pp. 749-756.
- 4 - Imafuku, I. et. al. A Generalized Automatic Mesh Generation Scheme for Finite Element Method. Int. Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol 15, pp. 713 - 731.
- 5 - Thacker, W. A Brief Review of Techniques for Generating Irregular Computational Grids. Int. Journal for Numerical Methods in Engineering Vol. 15, pp. 1335 - 1341.

APÊNDICE

Na subrotina COPLA são determinadas as coordenadas de pontos sobre uma superfície plana, no domínio rst, através da solução da intersecção de duas retas. As funções declaradas usadas e o significado das variáveis são:



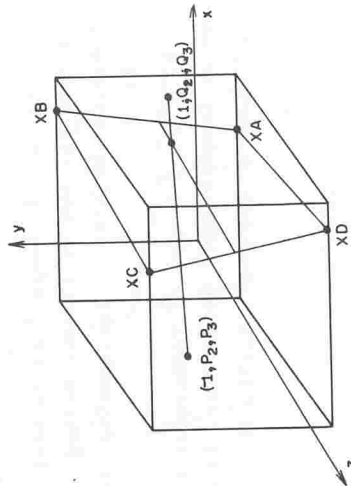
$$Y = ((Y2-Y1)(X4-X3)+2(Y2+Y1))/(4-(Y2-Y1)(X4-X3))$$

$$X = ((X4-X3)Y + (X4 + X3))/2$$

A subrotina ISUPRE obtém as coordenadas de pontos interiores ao volume, por um processo de resolução da intersecção de uma superfície, não necessariamente plana, por uma reta. A equação da superfície é $x = a + by + Cz + dyz$, onde as constantes $a; b; c$ e d são

$$a = (XA + XB + XC + XD)/4 \quad b = (-XA + XB - XC + XD)/4$$

$$c = (-XA - XB + XC + XD)/4 \quad d = (XA - XB - XC + XD)/4$$



São definidas as variáveis auxiliares

$$V_1 = (P_2 + Q_2)/2 \quad V_2 = (Q_2 - P_2)/2$$


$$W_1 = (P_3 + Q_3)/2 \quad W_2 = (Q_3 - P_3)/2$$

$$\alpha = d V_2 W_2 \quad \gamma = a + b V_1 + c W_1 + d V_1 W_1$$

$$\beta = b V_2 + c W_2 + d(V_1 W_2 + V_2 W_1) - 1$$

sendo a coordenada x do ponto de intersecção a solução de $\alpha x^2 + \beta x + \gamma = 0$ e as coordenadas y e z são obtidas como $y = V_1 + V_2 x$; $z = W_1 + W_2 x$. No caso de $\alpha=0$, então $x=y/\beta$.


ANAIIS PROCEEDINGS



COBEM 81

VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA

RIO DE JANEIRO, 15 - 18 de dezembro de 1981



TRABALHO N.º D-10 P. P. 95 - 102 PUC/RJ

PAPER

CRITICAL AND POST CRITICAL ANALYSIS OF DIVERGENCE:

PART I: NORMAL FORM ALGORITHM

Liu Hsu

COPE/UFRJ

Programa de Engenharia Mecânica

Caixa Postal nº 68 503

Rio de Janeiro - RJ

SUMÁRIO

An algorithm for obtaining the normal form of analytical differential systems is given. It can be implemented in a computer avoiding usual cumbersome algebraic calculations. The normal form is utilized in Part II, to generate a perturbation method for the analysis of divergence instability and in particular, the buckling of elastic systems.

1. INTRODUCTION

Since Poincaré, the problem of finding the simplest form, or *normal form*, to which a system of differential equations can be reduced, by means of (nonlinear) change of coordinates or transformations, has been considered by several authors. The most recent version of the normal form was given in 1964 by Briuno [1].

The reason for bringing a given differential system in normal form is that it is often much easier to draw general conclusions when the system is in normal form. Sometimes one can even integrate the system when it is normalized (e.g., when the normal form is linear) [2].

One difficulty, of practical character, in the normal