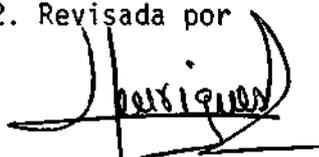


1. Publicação nº <i>INPE-3432-PRE/690</i>	2. Versão	3. Data <i>Fev., 1985</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DTL/DRC</i>	Programa <i>ET/ALFREQ</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>MODELAMENTO ANTENAS REFLETORAS ELEMENTOS TRIANGULARES</i>			
7. C.D.U.: <i>621.396.677.3</i>			
8. Título <i>MODELAMENTO DE REFLETORES POR ELEMENTOS TRIANGULARES</i>		<i>INPE-3432-PRE/690</i>	10. Páginas: <i>06</i>
			11. Última página: <i>05</i>
9. Autoria <i>Nilson R. Rabelo Márcio L.X. dos Santos (ITA)</i>			12. Revisada por  <i>Luiz M.D. Henriques</i>
Assinatura responsável 			13. Autorizada por  <i>Nelson de Jesus Parada Diretor Geral</i>
14. Resumo/Notas <i>Discute-se o modelamento de superfícies por elementos triangulares, um método conveniente para o cálculo de parâmetros elétricos e estruturais de antenas refletoras de forma arbitrária, de borda recortada ou distorcida. Descreve-se um programa de computador para o modelamento de refletores esféricos, parabólicos, elípticos ou hiperbólicos. Apresentam-se resultados obtidos para um refletor parabólico.</i>			
15. Observações <i>Submetido para apresentação no Simpósio Internacional de Microondas no Desenvolvimento Industrial, Brasil, de 22 a 25 de julho de 1985, Campinas, SP, Brasil.</i>			

MODELAMENTO DE REFLETORES POR ELEMENTOS TRIANGULARES

Nilson R. Rabelo

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
12200 - São José dos Campos, SP, Brasil

Márcio L.X. dos Santos

Centro Técnico Aeroespacial - CTA
Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA
12200 - São José dos Campos, SP, Brasil

ABSTRACT

The modelling of surfaces by triangular elements is discussed as a suitable means of calculating electrical and structural parameters of arbitrary shape, shaped contour or distorted reflector antennas. A computer code for modelling spherical, paraboloidal, elliptical or hyperboloidal reflectors is described. Results obtained for a paraboloidal reflector are presented.

1. INTRODUÇÃO

O modelamento de superfícies por elementos triangulares tem sido empregado no cálculo de parâmetros estruturais (Nayfeh e Hefzy, 1980; Agrawal et alii, 1981) e elétricos (Chan e Raab, 1981; Agrawal et alii, 1981) de antenas refletoras e em problemas de espalhamento eletromagnético (Wang, 1978; Rao et alii, 1982) com bons resultados.

O modelamento por triângulos é bastante conveniente no estudo de refletores de forma arbitrária ou de borda recortada ou ainda distorcidos devido a efeitos térmicos ou mecânicos por fornecer uma aproximação contínua, plana por partes e menos discrepante da superfície real do que as aproximações obtidas por modelamentos por outras figuras geométricas (Albertsen e Pontoppidan, 1979).

Uma característica importante é a continuidade da superfície quando modelada por triângulos. A justaposição de triângulos planos assegura a continuidade espacial por partes da área modelada. Diferentemente, as superfícies modeladas pelo consagrado Método de Ludwig (1968) são geralmente descontínuas: a cada quatro pontos sobre o refletor associa-se um quadrilátero plano, otimizado pelo Método de Mínimos Quadráticos. Neste caso, os quadriláteros modeladores resultantes não são, em geral, justapostos pelos lados e a área modelada não possui continuidade espacial. Convém ressaltar, entretanto, que as vantagens do modelamento por triângulos dão-se às custas de um número maior de elementos, pois cada três pontos da superfície definem um triângulo, enquanto cada quatro definem um quadrilátero no Método de Ludwig.

Tendo em vista: 1) utilizar as vantagens únicas do modelamento por facetas triangulares planas no estudo de antenas refletoras em satélites, antenas refletoras de forma arbitrária e antenas refletoras definidas numericamente por pontos; 2) comparar os resultados obtidos pelo modelamento por triângulos com outros obtidos por outros métodos, como de Ludwig e o de séries de Jacobi-Bessel (Castello Branco, 1982); encontra-se em desenvolvimento, no INPE e no ITA, um projeto na área de PAC (Projeto Assistido por Computador) para cálculo do diagrama de irradiação de antenas refletoras, modeladas através de triângulos planos justapostos.

Para tanto, foi implementado o programa P2, no momento executado por lote ("batch"), que permite modelar por triângulos, segundo parâmetros definidos pelo usuário, refletores no momento restritos a quatro formatos: *esférico, parabólico, elíptico ou hiperbólico*.

Pretende-se ainda que, quando terminado, este estudo mostre-se útil no projeto estrutural de antenas e na análise dos efeitos de perturbações ambientais (distorções nos refletores devido a gradientes térmicos, pressão higroscópica, etc.) sobre refletores, com conseqüente modificação do desempenho das antenas.

2. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

Seja um refletor obtido pela revolução, em torno do eixo z , da curva $z = f(x)$, $0 \leq x \leq L$, onde f é uma função definida analiticamente tal que $f(0) = 0$ (vértice). Casos particulares incluem os refletores esférico, parabólico, elíptico ou hiperbólico, tratados pelo programa P2.

O modelamento por facetas triangulares planas de um refletor assim obtido segue os seguintes passos:

- 1) Inscreve-se na circunferência da abertura um *polígono regular de n lados*.
- 2) Constrói-se uma *pirâmide de n faces triangulares* cuja base é o polígono regular da abertura e cujo vértice é o vértice do refletor.
- 3) Divide-se cada lado dos triângulos das faces em N *segmentos iguais*. Denomina-se N a *frequência de partição*. Traçam-se segmentos de reta paralelos aos lados dos triângulos pelos pontos em que cada lado ficou subdividido. Esta partição é chamada *partição alternada*.
- 4) Toma-se um ponto genérico C fora da pirâmide como *centro de projeção*. O centro de projeção C e cada vértice P dos triângulos gerados pela partição alternada definem um segmento de reta que, ao ser estendido, intercepta a superfície do refletor num *ponto Q* . O ponto Q é denominado *projeção do ponto P sobre o refletor*, a partir do centro de projeção C . Obtém-se deste modo a *projeção sobre o refletor de todos os pontos definidos pela partição alternada*.

- 5) Unem-se os pontos sobre o refletor por segmentos de reta correspondentes aos lados dos triângulos sobre as faces da pirâmide.

3. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA P2

Embora o programa P2 desenvolvido trate apenas de refletores esféricos, parabólicos, elípticos ou hiperbólicos, outros tipos de refletores podem ser prontamente analisados, desde que sejam definidos analiticamente.

O programa P2, codificado em FORTRAN, é executado via terminal remoto do computador Burroughs B6800 do INPE. O computador solicita ao usuário, de forma interativa, os seguintes dados de entrada:

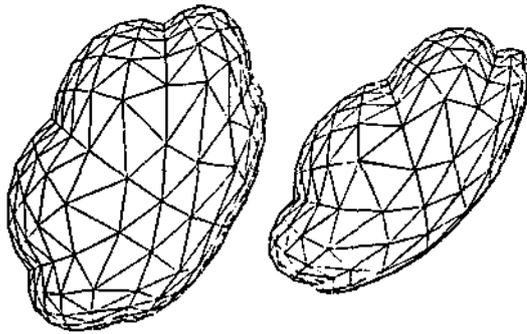
- tipo do refletor: esférico, parabólico, elíptico ou hiperbólico;
- diâmetro da circunferência de abertura;
- relação distância focal/diâmetro da circunferência de abertura (F/D);
- excentricidade, no caso de refletores elípticos ou hiperbólicos;
- número de lados n do polígono regular da abertura;
- frequência de partição N ;
- coordenada z_c do centro de projeção: restringe-se a centros de projeção sobre o eixo de simetria z , isto é, de coordenadas $(0, 0, z_c)$, $z_c \neq 0$;
- ângulos eulerianos de rotação: três ângulos através dos quais é possível obter qualquer vista do refletor modelado por triângulos.

O programa P2 gera duas projeções do refletor definidas pelo usuário: a primeira em um plano transversal ao eixo de simetria z (plano yx); a segunda em um plano que contém o eixo z (plano yz). Para isto, são utilizadas as rotinas gráficas do NCAR (National Center for Atmospheric Research) e o "hardware" gráfico disponível ("plotter") Burroughs 1051.

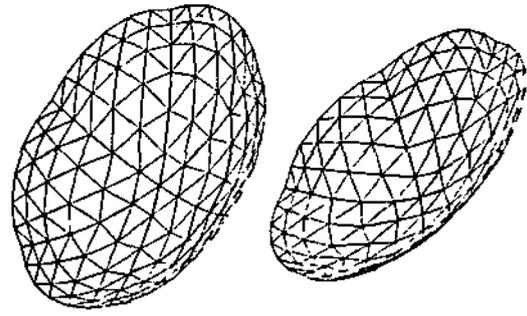
4. RESULTADOS

Para ilustrar as capacidades do programa P2, foi estudado o efeito da escolha do centro de projeção no modelamento por triângulos de um refletor parabólico de 6,4 m de diâmetro de abertura e $F/D = 0,4$ (flecha máxima $H = 1$ m). Tomou-se um hexágono regular inscrito na circunferência de abertura ($n=6$) e uma frequência de partição N igual a 6. Os ângulos eulerianos de rotação tomados foram todos de 45° .

A Figura 1 ilustra o modelamento por triângulos do refletor citado, tomando o centro de projeção $C = (0, 0, z_c)$ com $z_c = 0,2$ $H = 0,2$ m. Nas Figuras 1a e 1b têm-se as vistas nos planos yx e yz respectivamente. O mesmo acontece nas Figuras 2, 3 e 4 com $z_c = 0,6$ $H = 0,6$ m, $z_c = H = 1$ m e $z_c = 2$ $H = 2$ m, respectivamente.



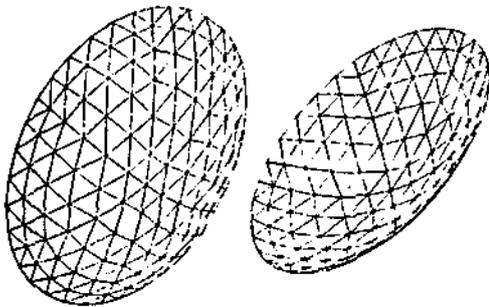
REFLEXÃO PARABÓLICA
 QUANTO DO CONJUNTO 3.00 METROS
 DISTÂNCIA DISTÂNCIA FOCAL / DISTÂNCIA DO OBJETIVO ... 0.4000
 ÂNGULO DE ABERTURA DO PROJETO DE CONJUNTO 0
 FOCALIZAÇÃO DE OBJETIVO 0
 CENTRO DE PROJEÇÃO 05.00 x 0.00 x 0.00 x 0 METROS
 ÂNGULO EMBUDAMENTO DE PROJETO 0 05.00 x 05.00 x 05.00 x 05.00



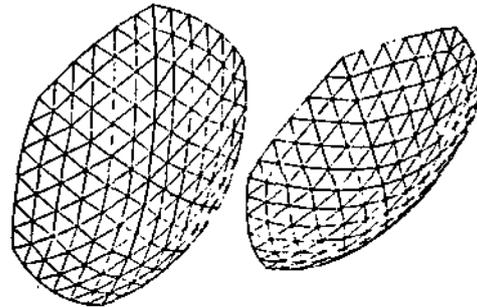
REFLEXÃO PARABÓLICA
 QUANTO DO CONJUNTO 0.60 METROS
 DISTÂNCIA DISTÂNCIA FOCAL / DISTÂNCIA DO OBJETIVO ... 0.4000
 ÂNGULO DE ABERTURA DO PROJETO DE CONJUNTO 0
 FOCALIZAÇÃO DE OBJETIVO 0
 CENTRO DE PROJEÇÃO 05.00 x 0.00 x 0.00 x 0 METROS
 ÂNGULO EMBUDAMENTO DE PROJETO 0 05.00 x 05.00 x 05.00 x 05.00

Fig. 1 - $z_c = 0,2$ $H = 0,2$ m.
 (a) plano yx;
 (b) plano yz.

Fig. 2 - $z_c = 0,6$ $H = 0,6$ m.
 (a) plano yx;
 (b) plano yz.



REFLEXÃO PARABÓLICA
 QUANTO DO CONJUNTO 1.00 METROS
 DISTÂNCIA DISTÂNCIA FOCAL / DISTÂNCIA DO OBJETIVO ... 0.4000
 ÂNGULO DE ABERTURA DO PROJETO DE CONJUNTO 0
 FOCALIZAÇÃO DE OBJETIVO 0
 CENTRO DE PROJEÇÃO 05.00 x 0.00 x 0.00 x 0 METROS
 ÂNGULO EMBUDAMENTO DE PROJETO 0 05.00 x 05.00 x 05.00 x 05.00



REFLEXÃO PARABÓLICA
 QUANTO DO CONJUNTO 2.00 METROS
 DISTÂNCIA DISTÂNCIA FOCAL / DISTÂNCIA DO OBJETIVO ... 0.4000
 ÂNGULO DE ABERTURA DO PROJETO DE CONJUNTO 0
 FOCALIZAÇÃO DE OBJETIVO 0
 CENTRO DE PROJEÇÃO 05.00 x 0.00 x 0.00 x 0 METROS
 ÂNGULO EMBUDAMENTO DE PROJETO 0 05.00 x 05.00 x 05.00 x 05.00

Fig. 3 - $z_c = H = 1$ m.
 (a) plano yx;
 (b) plano yz.

Fig. 4 - $z_c = 2$ $H = 2$ m.
 (a) plano yx;
 (b) plano yz.

5. CONCLUSÃO

No presente trabalho são apresentados os resultados iniciais obtidos no esforço conjunto do INPE e do ITA para o desenvolvimento de um sistema PAC para análise e projeto de refletores através de modelamento por facetas triangulares planas. No momento, é possível modelar refletores definidos analiticamente. Caminha-se para estender o alcance do programa e refletores definidos numericamente. Objetiva-se o cálculo dos diagramas de irradiação de antenas refletoras na presença de distorções provocadas por condições ambientais. Resultados comparativos com os de outros métodos serão divulgados brevemente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRAWAL, P.K.; ANDERSON, M.S.; CARD, M.F. Preliminary design of large reflectors with flat facets. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, AP-29(4):688-694, July 1981.
- ALBERTSEN, N.C.; PONTOPPIDAN, K. *Pattern prediction methods for high performance single and dual reflector antennas*; final report. Copenhagen, Tica, Nov. 1979. (S-101-02).
- CASTELLO BRANCO, M.G. *Estimativa numérica do campo irradiado por antenas parabólicas "on-axis" através de séries de Jacobi-Bessel*. Tese de mestrado em Engenharia Elétrica. Rio de Janeiro, Pontifícia Universidade Católica, ago. 1982.
- CHAN, K.K.; RAAB, A.R. Surface-current analysis of distorted reflector antennas. *IEE Proceedings*, part H, 128(4):206-212, Aug. 1981.
- LUDWIG, A.C. Computation of radiation patterns involving numerical double integration. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, AP-16(6):767-769, Nov. 1968.
- NAYFEH, A.H.; HEFZY, M.S. *Geometric modelling and analysis of large latticed surfaces*. Washington, NASA, Apr. 1980. (NASA CR-3156).
- RAO, S.M.; WILTON, D.R.; GLISSON, A.W. Electromagnetic scattering by surfaces of arbitrary shape. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, AP-30(3):409-418, May 1982.
- WANG, J.J.H. Numerical analysis of three-dimensional arbitrarily shaped conducting scatterers by trilateral surface cell modelling. *Radio Science*, 13(6):947-952, Nov.-Dec. 1978.