



República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional de Propriedade Industrial

(21) PI 1107131-1 A2



(22) Data de Depósito: 29/11/2011

(43) Data da Publicação: 28/07/2015  
(RPI 2325)

(54) Título: SISTEMA DE ANTENAS COM MÚLTIPLOS FEIXES

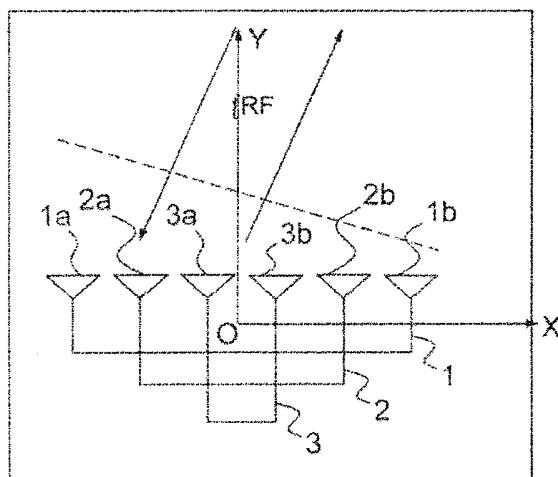
(51) Int.Cl.: H01Q21/08

(30) Prioridade Unionista: 08/12/2010 FR 1060239

(73) Titular(es): Thomson Licensing

(72) Inventor(es): Ali Louzir, Dominique Lo Hine Tong,  
Jean-Francois Pintos

(57) Resumo: SISTEMA DE ANTENAS COM MÚLTIPLOS FEIXES. A presente invenção refere-se a um sistema de antenas com múltiplos feixes que compreende uma rede de  $N$  elementos de radiação ( $i$ a,  $i$ b), sendo que  $N$  é um número inteiro par, sendo que os elementos da rede são conectados dois a dois através de linhas de transmissão (11, 12). O sistema compreende, além disso,  $M$  fontes de radiação ( $S_i$ , 52, 53), sendo que  $M$  é um número inteiro maior que ou igual a 1, sendo que a(s) fonte(s) de radiação é(são) posicionada(s) a uma distância  $L_i$  a partir do centro da rede de tal modo que a distância  $L_i$  seja estritamente menor que a distância de campos chamados de campos longes e  $i$  varia de 1 a  $M$ . Este sistema pode ser usado notavelmente em dispositivos MIMO.



## “SISTEMA DE ANTENAS COM MÚLTIPLOS FEIXES”

A presente invenção refere-se a um sistema de antena com múltiplos feixes, particularmente, um sistema de antena com múltiplos feixes que pode ser usado no contexto de comunicações sem fio, mais particularmente, em redes domésticas sem fio, nas quais as condições para propagação de ondas eletromagnéticas são muito desgastantes devido a múltiplas trajetórias.

Para novas aplicações tais como redes domésticas sem fio, redes inteligentes ou redes de tipo similar, o uso de antenas diretivas, que são antenas capazes de focalizar a potência radiada em uma direção particular do espaço, é particularmente atrativo. Entretanto, as leis da física impõem um tamanho mínimo para antenas, este tamanho é o mais significativo, tendo em vista que a antena é mais diretiva ou sua frequência operacional é baixa.

Até o presente momento, o uso de antenas diretivas permaneceu limitado a aplicações que operam em frequências muito altas, frequentemente, com feixes fixos, e não possuem restrições de tamanho tais como aquelas aplicações de radar ou aplicações de satélite. Dessa forma, para estes tipos de aplicação, os dispositivos de antena são conhecidos por gerarem múltiplos feixes, mas são compostos de diversos módulos que são frequentemente complexos e dispendiosos. Adversamente, os dispositivos de antena chamados de antenas retrodiretivas permitem que feixes diretivos sejam formados de maneira muito simples em uma direção privilegiada do espaço. As redes de antena retrodiretiva são baseadas no fato de que cada antena da rede recebe o sinal incidente de uma fonte com uma diferença característica de trajetória-comprimento, ou seja, uma fase diferente. Esta diferença de fase é característica da direção da fonte emissora. Na realidade, posto que o sinal a ser enviado é emitido na direção da fonte, isto confirma que a diferença de fase entre cada antena na transmissão é oposta a da recepção com a finalidade de antecipar a diferença trajetória-comprimento na trajetória de retorno.

Dentre as antenas retrodiretivas, a rede mais bem conhecida é a rede chamada de rede “Van-Atta” que é descrita, notavelmente, na patente de nº US2.908.002 de 6 de outubro de 1959. Conforme mostrado na Figura 1, uma rede retrodiretiva do tipo Van-Atta é constituída de inúmeros elementos de radiação 1a, 1b, 2a, 2b, 3a, 3b que são simétricos em relação ao eixo geométrico central Oy da rede. Os elementos de radiação são conectados por pares, o elemento de radiação 1a é conectado ao elemento de radiação 1b, o elemento de radiação 2a conectado ao elemento de radiação 2b, o elemento de radiação 3a conectado ao elemento de radiação 3b, através de linhas de transmissão 1, 2, 3 que têm comprimentos elétricos iguais, sendo que as antenas são simetricamente opostas em relação ao eixo geométrico central da rede. Nesse caso, a diferença de fase induzida pelas linhas de transmissão é, dessa forma, a mesma em todos os elementos de radiação e a diferença de fase entre dois elementos de radiação consecutivos é a mesma na recepção do sinal e na trans-

missão do sinal retrodirecionado para o sinal mais próximo. As diferenças de fase entre os sinais de elementos de radiação da rede de transmissão são, dessa forma, opostas às diferenças de fase entre os sinais dos elementos de radiação da rede de recepção. Uma característica de retrodireção do sinal transmitido é, dessa forma, obtida.

5           Entretanto, este método tem um certo número significativo de desvantagens. Para obter a característica de retrodireção do sinal, a frente da onda incidente precisa ser plana. Além disso, a rede de antena precisa ser plana ou mais ou menos simétrica em relação ao centro de rede. Como a frente da onda incidente precisa ser plana, é necessário que a rede de elementos de radiação seja posicionada na área de campo longe da fonte transmissora.  
10 Como resultado, até o presente momento as aplicações de redes do tipo Van-Atta foram somente aplicações do tipo satélite ou radar.

          Como resultado de estudos feitos sobre estes tipos de redes retrodiretivas, a presente invenção propõe o uso do princípio de uma rede de elementos de radiação para produzir um sistema de antenas com múltiplos feixes que pode ser usado em comunicações  
15 sem fio, notavelmente, em redes domésticas sem fio ou em redes do tipo ponto a ponto que se comunicam através de links sem fio, mais especificamente, no escopo de sistemas MIMO (Múltipla Entrada/Múltipla Saída), mas também em sistemas de antena com uma única antena associada a sistema de processamento que operam com antenas diretivas.

          Dessa forma, o propósito da presente invenção é um sistema de antenas com múltiplos feixes que compreende uma rede de N elementos de radiação, sendo que N é um  
20 número inteiro par, os elementos da rede são conectados dois a dois através de linhas de transmissão, **CARACTERIZADAS** pelo fato de que compreendem mais de M fontes de radiação, sendo que M é um número inteiro maior que ou igual a 1, sendo que a fonte de radiação é posicionada em uma distância  $L_i$  do centro da rede de modo que a distância  $L_i$  seja  
25 estritamente menor que a distância de campos chamados campos longes e  $i$  varia de 1 para M. As noções de campo longe e campo próximo foram descritas particularmente em um artigo da revista IEEE Antennas and Propagation vol. 46, nº 5, de outubro de 2004 intitulado "Radiating Zone Boundaries of Short  $\lambda/2$  e  $\lambda$  Dipoles". Dessa forma, para uma fonte de dimensões pequenas vis-à-vis, o comprimento de onda, a distância  $L_i$  é menor que  $1,6\lambda$  onde  
30  $\lambda$  é o comprimento de onda na frequência operacional (em ar  $\lambda=\lambda_0$  e em um meio diferente

$\lambda=\lambda_g$ , de tal modo que  $\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r}}$  com  $\epsilon_r$  e  $\mu_r$  a permissividade e permeabilidade do meio)

          De acordo com uma modalidade preferencial, os elementos da rede são conectados dois a dois simetricamente através de linhas de transmissão que têm o mesmo comprimento elétrico e o número de fontes de radiação é estritamente maior que 1. De preferência,  
35 no escopo de um sistema MIMO, o número de fontes de radiação é igual ao número de entradas do sistema MIMO.

De acordo com uma outra modalidade, o sistema de antena com múltiplos feixes compreende uma fonte de radiação e a característica de direção de feixes é obtida através da integração em pelo menos uma das linhas de transmissão, um circuito ativo que permite que a diferença de fase da linha seja modificada. Por exemplo, o circuito ativo pode ser um acoplador híbrido ou um filtro do tipo daqueles descritos no pedido de patente francês número 09 58282 depositado em 23 de novembro de 2010 sobre o nome de THOMSON Licensing.

De acordo com uma outra modalidade, um filtro passivo que introduz uma diferença de fase constante e que permite que uma filtração de frequência seja introduzida nas linhas de transmissão que conectam 2 a 2 os elementos da rede permitindo, por exemplo, na recepção, o aprimoramento da rejeição de ruído, ou na transmissão, a redução de radiação parasita da fonte de radiação.

De acordo com diferentes modalidades da presente invenção, os elementos de radiação da rede são constituídos por elementos selecionados dentre monopolos, painéis, fendas, antenas do tipo chifre ou similares elementos. Do mesmo modo, as fontes de radiação também são constituídas por fontes selecionadas dentre monopolos, dipolos, painéis, fendas, antenas do tipo chifre ou similares elementos.

De acordo com uma modalidade preferencial, no caso de uso de monopolos como elementos de radiação da rede, os monopolos possuem dimensões  $d = \lambda/4$  onde  $\lambda$  é o comprimento de onda na frequência operacional. Além disso, a distância de cada elemento de radiação é um múltiplo de  $\lambda/4$  onde  $\lambda$  é o comprimento de onda na frequência operacional. É evidente que outras distâncias podem ser consideradas sem que se afaste do escopo da presente invenção.

Além disso, quando o sistema tem diversas fontes de radiação, de acordo com uma modalidade, uma das fontes de radiação é posicionada de acordo com o eixo geométrico de simetria da rede de elementos de radiação, sendo que as outras fontes são deslocadas em um ângulo  $\theta_i$  com  $i$  variando de 2 a  $M$ . De acordo com uma outra modalidade, as fontes são simétricas em relação ao eixo geométrico central da rede e são deslocadas em um ângulo  $\theta_i$  com  $i$  variando de 2 a  $M$ .

Outras características e vantagens da presente invenção irão surgir mediante a leitura da seguinte descrição de diversas modalidades, sendo que esta descrição é feita em referência aos desenhos em anexo no apêndice, nos quais:

A Figura 1 já descrita é uma representação diagramática de uma rede retrodiretiva do tipo Van Atta.

A Figura 2A é uma vista em perspectiva diagramática de uma primeira modalidade de um sistema de antena com múltiplos feixes de acordo com a presente invenção.

A Figura 2B representa uma parte ampliada do sistema de antena com múltiplos

feixes da Figura 2A.

A Figura 3 mostra os padrões de radiação de um sistema com múltiplos feixes tal como mostrado na Figura 2 para um primeiro valor da distância entre elementos da rede e de acordo com as fontes usadas.

5 A Figura 4 mostra os padrões de radiação de uma segunda modalidade tal como aqueles mostrados na Figura 2 para um segundo valor da distância entre elementos da rede e de acordo com as fontes usadas.

A Figura 5 é uma vista em perspectiva diagramática de uma segunda modalidade da presente invenção.

10 As Figuras 6A e 6B mostram em 3D os padrões de radiação da modalidade da Figura 5 de acordo com a fonte usada.

As Figuras 7A e 7B mostram uma seção transversal em 2D de acordo com um plano ortogonal das fontes de padrões das Figuras 6A e 6B.

15 Será dada primeiramente uma descrição, em referência às Figuras 2, 3 e 4 de uma primeira modalidade de um sistema de antena com múltiplos feixes de acordo com a presente invenção. Em um substrato 10 de dimensões grandes fornecidas com um plano aterrado, um sistema foi implantando compreendendo uma rede de monopolos do tipo Van Atta e diversas fontes, sendo que os monopolos são posicionados no campo próximo às fontes, conforme será descrito em maiores detalhes posteriormente no presente documento.

20 Na modalidade mostrada, o substrato é um quadrado do comprimento  $L = 4,6 \lambda$  onde  $\lambda$  é o comprimento de onda na frequência operacional (em ar  $\lambda = \lambda_0$ ). Conforme mostrado em maiores detalhes na Figura 2B, a parte da antena é constituída de uma rede de 4 elementos 11a, 11b, 12a e 12b formados, na modalidade mostrada, por monopolos de altura  $h \sim \lambda_0/4$ . Os monopolos 11a, 12a, 12b, 11b são separados por uma distância  $d$  e conectados  
25 dois a dois através de uma rede de linhas implantada em tecnologia *micro-strip* que, na modalidade mostrada, são do tipo Van Atta, ou seja, as linhas que conectam os dois monopolos têm o mesmo comprimento elétrico para obter uma mesma fase. Mais especificamente, os dois monopolos externos 11a e 11b são conectados através da linha 11 enquanto o monopolo 12a é conectado ao monopolo 12b através da linha 12, sendo que tudo é simétrico  
30 em relação ao eixo geométrico Oy.

Na modalidade representada acima, uma rede do tipo Van Atta foi usada, entretanto, é óbvio para aqueles elementos versados na técnica que uma rede diferente que permite o controle da direção do feixe retornado para a fonte também pode ser usada. Além disso, os elementos da rede mostrados são monopolos. Entretanto, é evidente para aqueles elementos versados na técnica que outros tipos de elemento para a rede podem ser usados,  
35 particularmente, painéis ou fendas, conforme será descrito posteriormente no presente documento.

De acordo com a presente invenção, diversas fontes de radiação são posicionadas em oposição à rede de monopólio a uma distância  $L_i$  da rede. A distância  $L_i$  é selecionada de maneira que reduza o tamanho total do sistema de antena. No presente caso, isto é menor que a distância do campo longe. Para antenas cujas dimensões estão próximas a ou menores que o comprimento de onda ( $\lambda_0$ ), a distância  $L_i$  é menor que  $1,6 \lambda_0$  onde  $\lambda_0$  é o comprimento de onda na frequência operacional. Por conseguinte, na modalidade mostrada na Figura 2B, uma primeira fonte S1 central em relação ao eixo geométrico Oy correspondente ao eixo geométrico de simetria da rede é posicionada a uma distância L do centro da rede, uma segunda fonte S2 é posicionada a uma distância LS1 a partir do centro da rede e uma terceira fonte S3 é posicionada simetricamente em S2 em relação à fonte S1 a uma distância LS1 a partir do centro da rede. Como resultado, as fontes S1 e S2 são deslocadas em um ângulo  $\theta_i$  em relação à fonte S1.

Na modalidade mostrada, as fontes S1, S2 e S3 são constituídas por monopolos de altura  $\lambda_0/4$ . Entretanto, é evidente para aqueles elementos versados na técnica que outros tipos de fonte de radiação podem ser considerados. Uma das condições a ser respeitada a fim de obter um sistema de antena com múltiplos feixes compactos é que a rede de N elementos de radiação está localizada na área do campo próxima à fonte ou fontes. Esta condição é obtida através da colocação da fonte em uma distância compreendida entre  $\lambda_0$  e  $1,6 \lambda_0$  a partir do centro da rede com  $\lambda_0$  o comprimento de onda na frequência operacional se a fonte tiver dimensões próximas a ou menores que  $\lambda_0$ . No caso contrário, a distância do campo longe é determinada pela fórmula bem conhecida por aqueles elementos versados na técnica  $2*D^2/\lambda_0$  onde D é a maior dimensão da antena.

A modalidade da Figura 2B foi simulada com o uso de um simulador eletromagnético 3D (HFSS) da empresa ANSYS. Levando em consideração o acoplamento mútuo, as simulações foram executadas com o uso de dois diferentes valores para o desvio entre os elementos de rede, a saber,  $d = \lambda_0/2$  para uma primeira modalidade e  $d = \lambda_0/4$  para uma segunda modalidade, as outras dimensões, a saber, a distância  $L = 0,4 \lambda_0$ , a distância  $LS1 = \lambda_0$  e o ângulo  $\theta_1 = 60^\circ$  são idênticas para as duas modalidades.

A Figura 3 mostra os resultados obtidos para a primeira modalidade enquanto a Figura 4 mostra os resultados obtidos para a segunda modalidade.

Nestas Figuras, as fontes excitadas são representadas por um círculo preto. Quando uma fonte é excitada, isto radia de uma maneira unidirecional no plano azimutal. Como resultado, a fonte ilumina a rede e cada elemento da rede captura parte do sinal. Isto é reinjetado em direção ao elemento que é propriamente conectado através da linha de *micro-strip* correspondente. O padrão resultante é a sobreposição da radiação da fonte e da rede. Será observada na Figura 3 que o padrão é orientado em direções diferentes de acordo com a posição da fonte excitada, que permite que um sistema com múltiplos feixes seja obtido

com o sistema representado na Figura 2B como uma radiação diretiva da rede seja obtido. Esta radiação pode ser modificada através da inserção de uma parte ativa na rede para minimizar a radiação da fonte. Estas contribuições de fontes e da rede podem ser modificada através da alteração da distância entre as fontes e a rede (acoplamento +/- forte), mas também através da inserção de, por exemplo, um circuito de amplificação de bidirecional na rede no nível de linhas de transmissão. Pode ser facilmente compreendido que, como resultado, a rede terá uma contribuição mais forte que a fonte de excitação. Isto também oferece uma vantagem na recepção em relação ao ruído, tendo em vista que a amplificação ocorre mais a montante na cadeia. Consequentemente, isto permite o aumento da razão de sinal para ruído de todo o dispositivo.

Na segunda modalidade, a distância interelemento da rede é menor. Conforme as fontes são colocadas na mesma distância em relação ao centro da rede, a diferença de fase e amplitude entre os elementos extremos da rede é, dessa forma, reduzida. Será observado que, conforme mostrado na Figura 4, os padrões de radiação obtidos são mais acentuados em relação à sua característica de direção. Na realidade, a radiação máxima obtida não está na direção da fonte, mas em uma direção diferente, conforme mostrado para as fontes S2 e S3. Através do uso de um sistema de antenas com múltiplos feixes de acordo com a presente invenção, é possível, dessa forma, obter múltiplos feixes em direções privilegiadas simultaneamente. Este sistema pode, dessa forma, ser facilmente integrado com dispositivos do tipo MIMO, sendo que cada entrada do MIMO é conectada a uma das fontes S1, S2 ou S3 ou através de um dispositivo de seleção de feixe.

Será descrito no presente momento em referência às Figuras 5 a 7, uma modalidade diferente da presente invenção. Nesta modalidade, em um substrato 20 constituído, por exemplo, de um substrato com múltiplas camadas do tipo FR4 ( $\epsilon_r=4,4$ ,  $\tan \delta=0,02$ ) de 3 camadas condutoras, uma rede foi produzida com 4 elementos de radiação do tipo "painel". Os painéis 21a, 22a, 22b, 21b são painéis de meia onda impressos sobre o substrato e espaçados entre si a uma distância  $\lambda_0/2$  na frequência de 5,7GHz. Conforme mostrado na Figura 5, os painéis são conectados dois a dois (21a e 21b, 22a e 22b) através de linhas de transmissão 21 e 22 do mesmo comprimento elétrico. As linhas de transmissão são constituídas através da linha produzida em tecnologia *micro-strip* de largura 2,69mm e espessura 1,4mm, na modalidade mostrada. Estas são dispostas em dois lados do substrato para evitar qualquer cruzamento, sendo que a linha do lado inferior é conectada aos elementos de rede através de orifícios metalizados.

Na modalidade da Figura 5, as fontes de radiação são constituídas por dois dipolos 23, 24 de comprimento  $\lambda_0/2$  na frequência de 5,7GHz e diâmetro de 1mm. Os dipolos 23, 24 são posicionados em uma distância de  $1,1\lambda_0$  a partir do centro da rede e em um ângulo de  $60^\circ$  em relação ao normal que passa através do centro da rede.

As simulações do sistema de antena descritas acima foram executadas com o uso da mesma ferramenta conforme foi usado para outra modalidade descrita. As Figuras 6A e 7A mostram o padrão de radiação obtido quando o dipolo 23 é usado, enquanto as Figuras 6B e 7B mostram o padrão de radiação obtido quando o dipolo 24 é usado. Um desvio angular do feixe pode ser claramente visto nestes padrões diferentes na direção da fonte selecionada.

Dessa forma, através da associação de uma rede de do tipo Van Atta ou elementos de radiação do tipo similar no campo próximo a uma ou diversas fontes de radiação, é possível construir um sistema com múltiplos feixes que podem ser usados notavelmente em um dispositivo MIMO, e isto mesmo se o comportamento da rede não for perfeitamente retro-diretivo.

## REIVINDICAÇÕES

1.Sistema de antenas com múltiplos feixes que compreende uma rede de  $N$  elementos de radiação (11a, 11b, 12a, 12b, 21a, 21b, 22a, 22b), sendo que  $N$  é um número inteiro, sendo que os elementos da rede estão conectados dois a dois através de linhas de transmissão (11, 12; 21, 22), **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende além disso  $M$  fontes de radiação ( $S_1, S_2, S_3; 23, 24$ ), sendo que  $M$  é um número inteiro maior que ou igual a 1, sendo que a(s) fonte(s) de radiação é posicionada a uma distância  $L_i$  a partir do centro da rede de tal modo que a distância  $L_i$  seja estritamente menor que a distância do campo chamado de campo longe e  $i$  varia de 1 a  $M$ .

2.Sistema de antenas com múltiplos feixes, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os elementos da rede são conectados dois a dois simetricamente através de linhas de transmissão que têm um mesmo comprimento elétrico e o número de fontes de radiação é estritamente maior que 1.

3.Sistema de antenas com múltiplos feixes, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sistema de antenas com múltiplos feixes compreende uma fonte de radiação e a característica de direção de feixes é obtida através da integração em pelo menos uma das linhas de transmissão, sendo que um circuito ativo ou passivo permite que a diferença de fase da linha seja modificada.

4.Sistema de antenas com múltiplos feixes, de acordo com a reivindicação 3, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o circuito ativo é selecionado a partir dos acopladores híbridos ou dos filtros.

5.Sistema de antenas com múltiplos feixes, de acordo com a reivindicação 3, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o circuito passivo é um filtro passivo.

6.Sistema de antenas com múltiplos feixes, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os elementos de radiação da rede são constituídos de elementos selecionados dentre os monopolos, painéis, fendas ou antenas do tipo chifre.

7.Sistema de antenas com múltiplos feixes, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as fontes de radiação são constituídas de fontes selecionadas dentre monopolos, dipolos, painéis, fendas ou antenas do tipo chifre.

8.Sistema de antenas com múltiplos feixes, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **CARACTERIZADO** pelo fato de que, quando o sistema tem diversas fontes de radiação, sendo que uma das fontes de radiação é posicionada de acordo com o eixo geométrico de simetria da rede de elementos de radiação, sendo que as outras fontes são desviadas em um ângulo  $\theta_i$  com  $i$  variando de 2 a  $M$ .

9. Sistema de antenas com múltiplos feixes, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 7, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que, quando o sistema tem diversas fontes de radiação, sendo que as fontes são simétricas em relação ao eixo geométrico central da rede e são desviadas em um ângulo  $\theta_i$  com  $i$  variando de 2 a  $M$ .

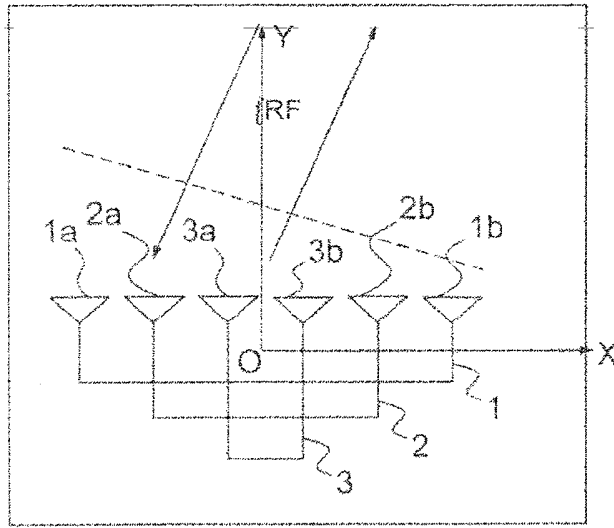


FIG. 1

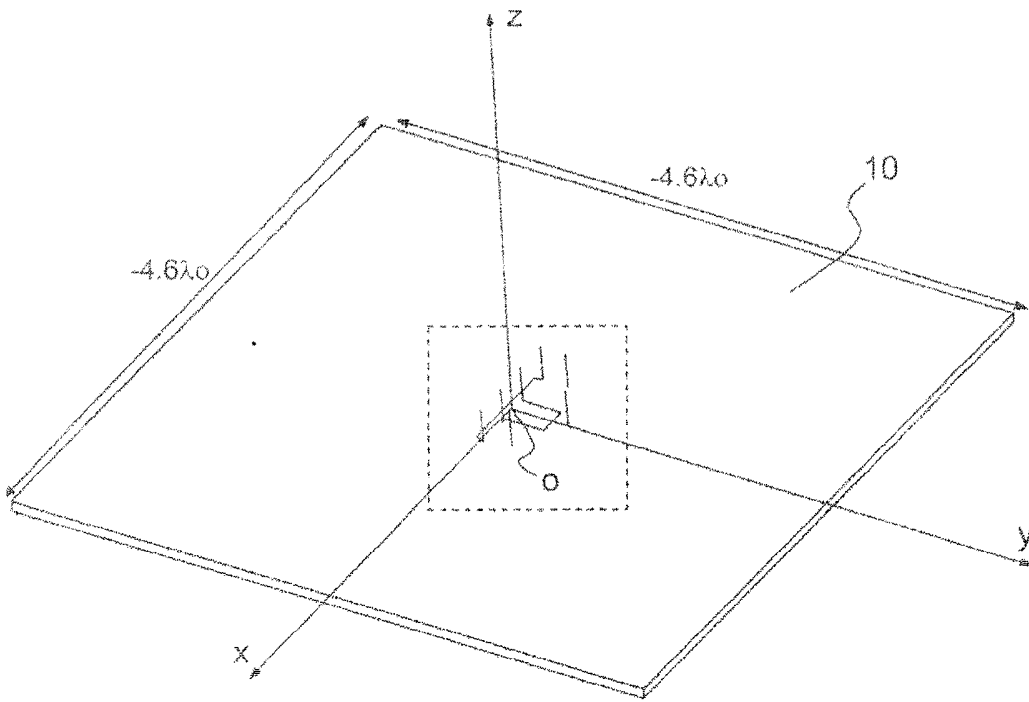


FIG. 2A

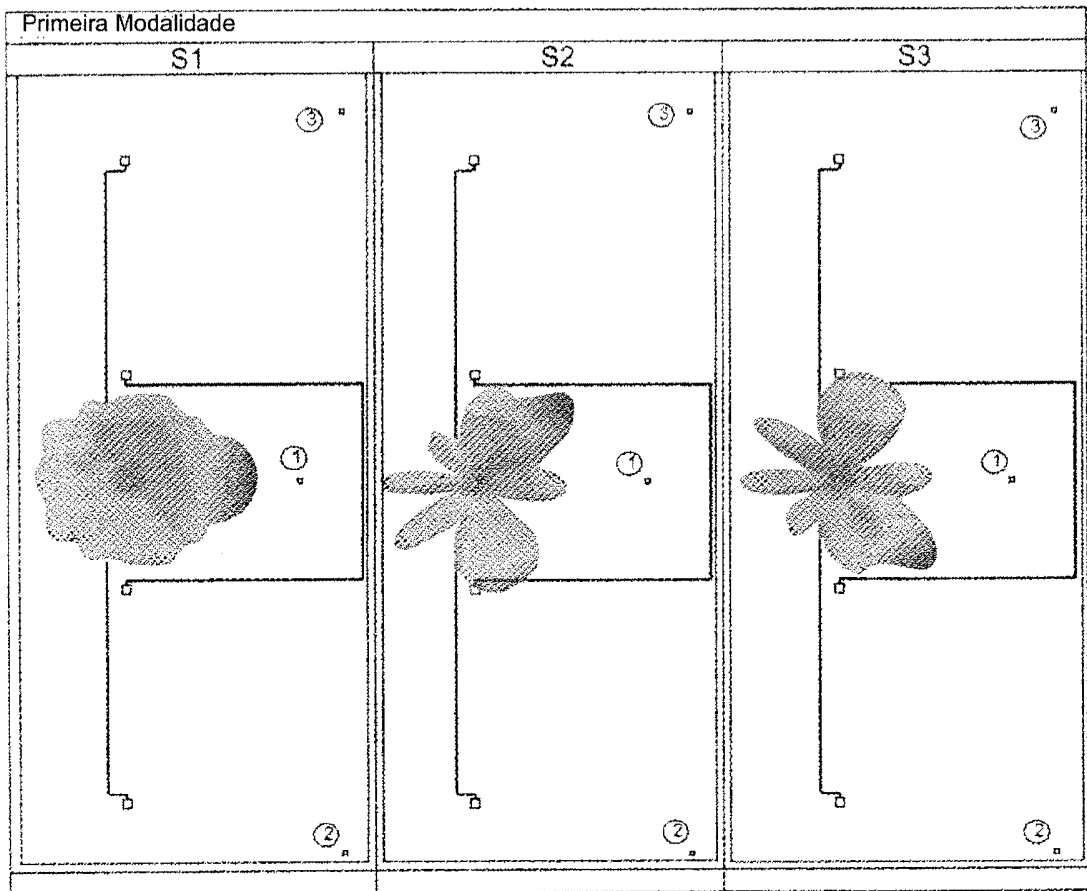
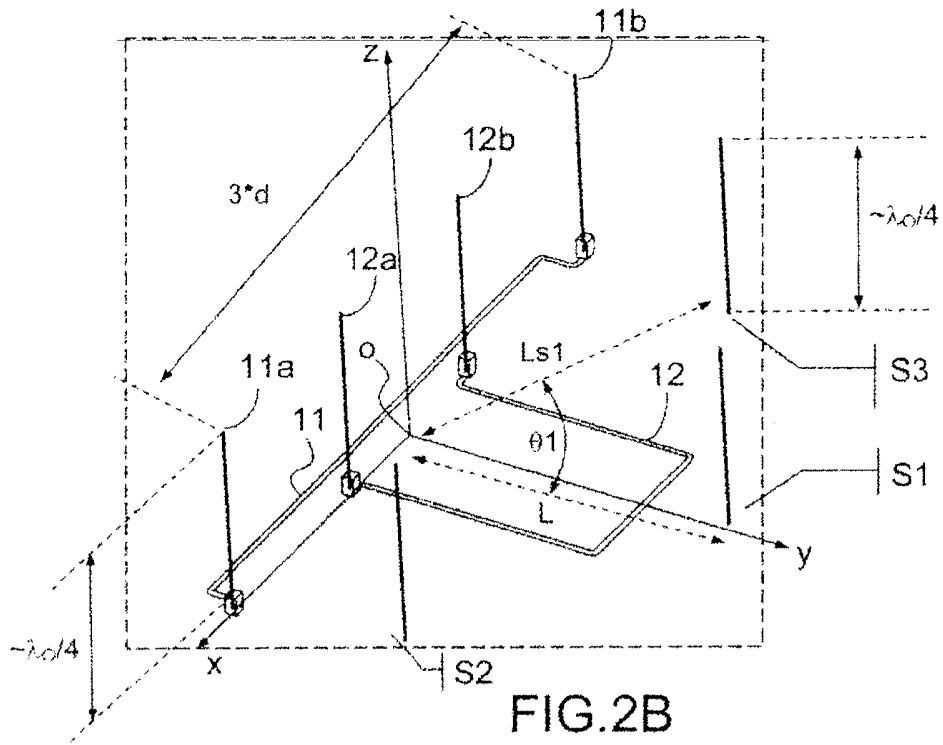


FIG. 3

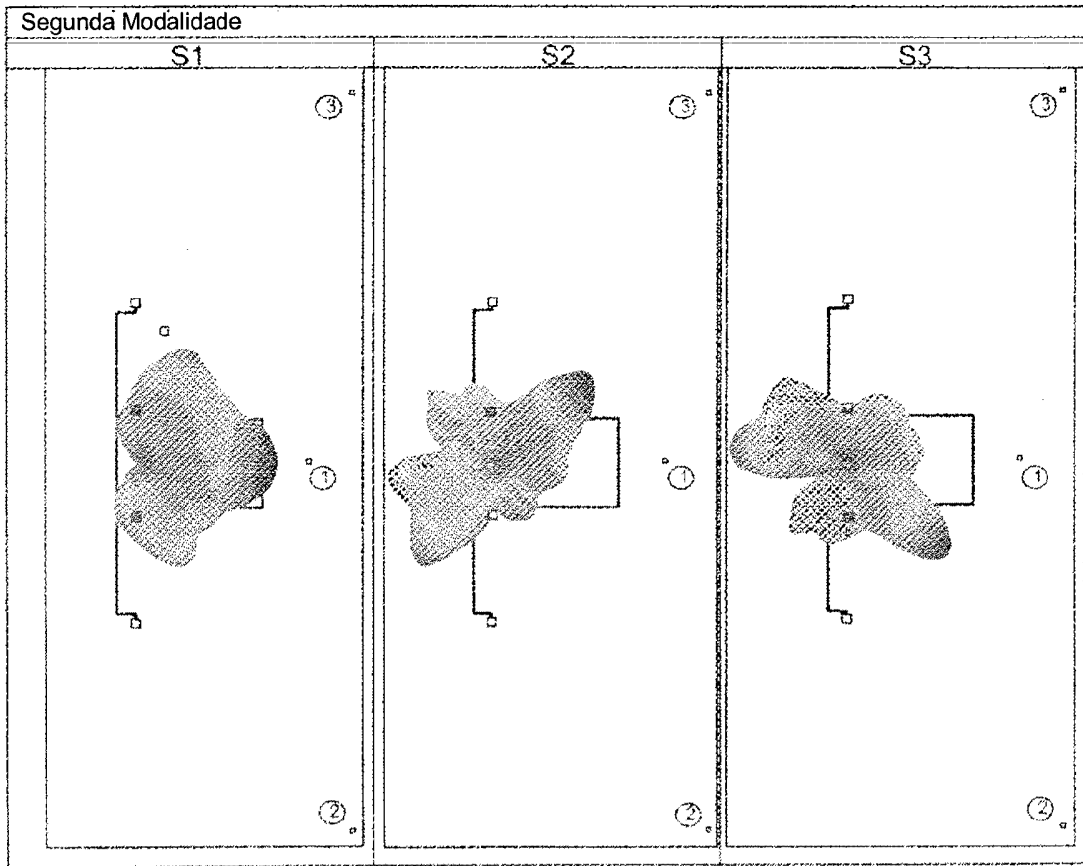


FIG.4

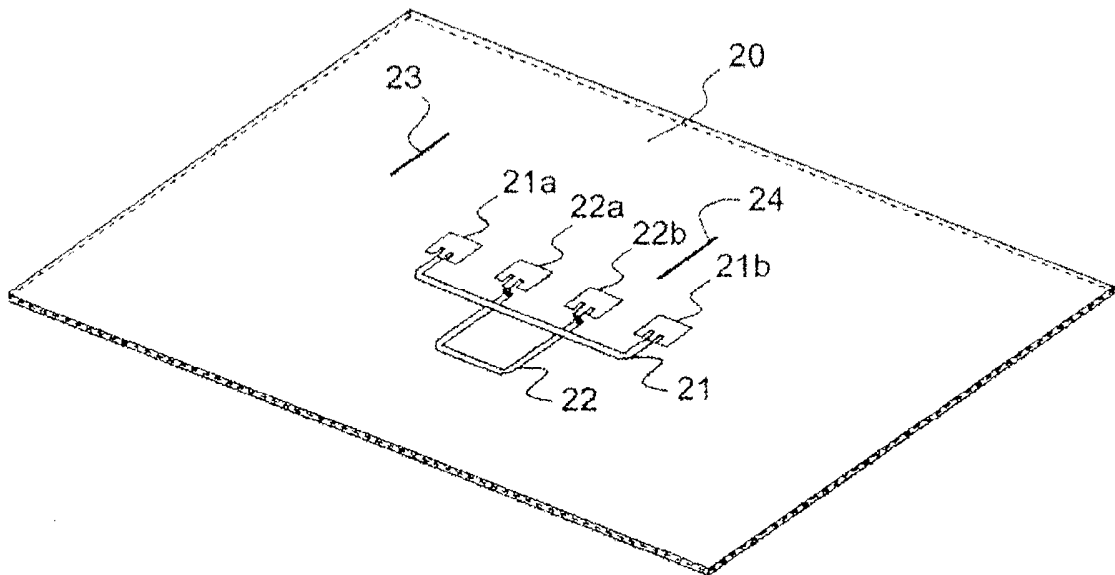


FIG.5

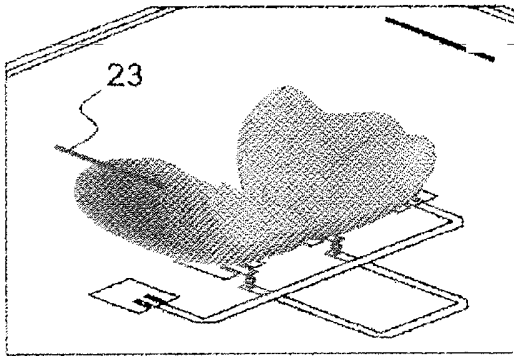


FIG.6A

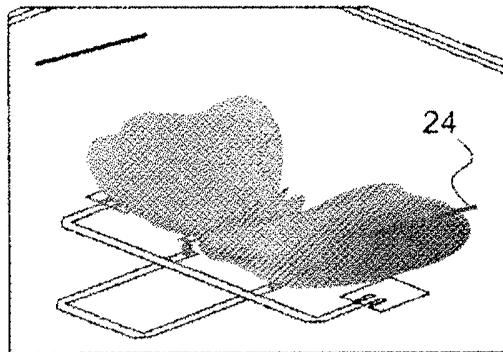


FIG.6B

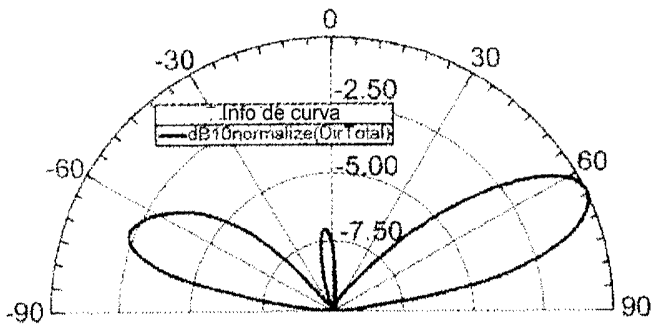


FIG.7A

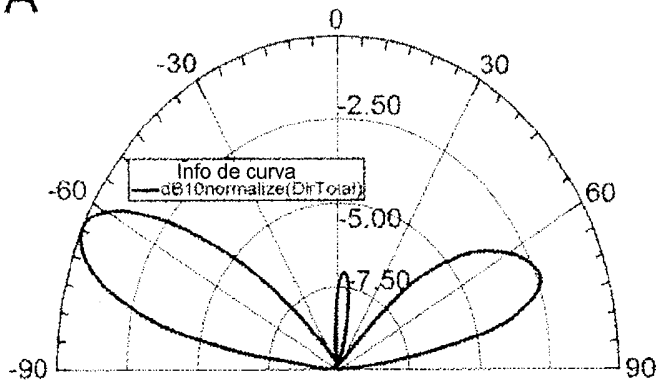


FIG.7B

RESUMO"SISTEMA DE ANTENAS COM MÚLTIPLOS FEIXES"

A presente invenção refere-se a um sistema de antenas com múltiplos feixes que compreende uma rede de  $N$  elementos de radiação (11a, 11b), sendo que  $N$  é um número inteiro par, sendo que os elementos da rede são conectados dois a dois através de linhas de transmissão (11, 12). O sistema compreende, além disso,  $M$  fontes de radiação ( $S_1, S_2, S_3$ ), sendo que  $M$  é um número inteiro maior que ou igual a 1, sendo que a(s) fonte(s) de radiação é(são) posicionada(s) a uma distância  $L_i$  a partir do centro da rede de tal modo que a distância  $L_i$  seja estritamente menor que a distância de campos chamados de campos longes e  $i$  varia de 1 a  $M$ .

Este sistema pode ser usado notavelmente em dispositivos MIMO.