



IPI
INSTITUTO
NACIONAL
DA PROPRIEDADE
INDUSTRIAL
Assinado
Digitalmente

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº PI 1010668-5

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: PI 1010668-5

(22) Data do Depósito: 27/05/2010

(43) Data da Publicação Nacional: 15/03/2016

(51) Classificação Internacional: G01D 5/353.

(30) Prioridade Unionista: GB 09 12051.0 de 11/07/2009; GB 09 08990.5 de 27/05/2009.

(54) Título: APARELHO INTERFERÔMETRO E MÉTODO DE MONITORAMENTO DE PERTURBAÇÕES ACÚSTICAS

(73) Titular: SILIXA LIMITED, -. Endereço: Silixa House, 230 Centennial Park, Elstree, London, WD6 3SN, REINO UNIDO(GB)

(72) Inventor: MAHMOUD FARHADIROUSHAN; TON RICHARD PARKER; SERGEY SHATALIN.

(87) Publicação PCT: WO 2010/136809 de 02/12/2010

Prazo de Validade: 20 (vinte) anos contados a partir de 27/05/2010, observadas as condições legais

Expedida em: 03/03/2020

Assinado digitalmente por:

Liane Elizabeth Caldeira Lage

Diretora de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

**Relatório Descritivo da Patente de Invenção para " APA-
RELHO INTERFERÔMETRO E MÉTODO DE MONITORAMENTO DE
PERTURBAÇÕES ACÚSTICAS ".**

Campo da Invenção

[001] A presente invenção refere-se a sensores ópticos e, em particular, a um interferômetro e métodos de uso.

Antecedentes da invenção

[002] Os benefícios das fibras ópticas têm sido demonstrados em uma variedade de aplicações de sensores. As duas principais áreas são: (i) sensores de fibra óptica distribuídos , e (ii) arranjos de sensor de ponto multiplexado.

[003] Sensores distribuídos utilizam a intensidade da luz dispersa com picos de Raman e/ou de Brillouin no sinal da luz utilizada para a medição de temperatura, tensão ou pressão. Sensores distribuídos oferecem uma variedade de vantagens incluindo detecção contínua ao longo de toda a extensão da fibra, e flexibilidade e simplicidade do sensor, que poderá ser uma fibra óptica padrão de telecomunicação. Por exemplo, um sensor distribuído pode fornecer 10.000 pontos de medição ao longo de 10 km de fibra óptica com um 1m de resolução espacial. Sistemas de sensores distribuídos, portanto, oferecem baixo custo de instalação e de propriedade.

[004] Todavia, devido à sua lenta resposta, os sensores distribuídos são normalmente usados somente em aplicações, onde as medições feitas na ordem de vários segundos a horas são aceitáveis. Os sensores mais comuns deste tipo são os sensores de temperatura distribuída (DTS), os quais são fabricados por uma série de companhias. Um desempenho típico de um DTS é resolução espacial de 1m e resolução de temperatura de 1°C em 60 segundos em uma faixa de 10 km.

[005] Sensores distribuídos também têm sido usados para medir a tensão utilizando deslocamentos de Brillouin em uma luz refletida ou

dispersa, como descrito na US 6.555.807 [1] ou na WO 98/27406 [2]. A frequência de deslocamento de Brillouin é de cerca de 1 MHz/10 $\mu\epsilon$ e sua largura linear é de cerca de 30MHz. A tensão na ordem de 10 $\mu\epsilon$ pode ser determinada ao longo da fibra óptica usando os métodos descritos de escaneamento de frequência estreita. No entanto, usando estas abordagens, a taxa de escaneamento é muito mais lenta que a taxa de repetição de pulso e a frequência de medições está normalmente na ordem de poucos segundos a poucos minutos.

[006] Mais recentemente, uma técnica para medição mais rápida de deslocamento de frequência de Brillouin foi proposta na US 7.355.163 [3]. Esta técnica usa uma frequência para o convesor de amplitude que pode ser na forma de um interferômetro Mach-Zehnder de fibra óptica com um acoplador 3x3 em sua saída. No entanto, a resolução de tensão é limitada por uma largura linear da luz de Brillouin e, portanto, a diferença do comprimento da trajetória óptica no interferômetro deveria ser mantida dentro do comprimento de coerência da luz de Brillouin. Como também, o desvanecimento da polarização entre as duas trajetórias do interferômetro, as variações de deslocamento e dos receptores fotodetectores irão significativamente limitar a medição de tensão. Recentemente foram comunicados os momentos de medição de cerca de 0,1 segundo (10 Hz) com uma resolução de tensão de 50 $\mu\epsilon$ usando esta técnica.

[007] Para muitas aplicações, tal como a percepção acústica, é exigida uma sensibilidade muito mais alta e um tempo de medição mais rápido na ordem de 1 milissegundo (1 kHz), 0,1 milissegundo (10kHz) ou 0,01 milissegundo (100kHz).

[008] Sensores de ponto multiplexado oferecem medições mais rápidas com alta sensibilidade e são usados, por exemplo, em sistemas de hidrofone. A principal aplicação para esses no mercado de energia é para sistemas sísmicos de reboque e de leito do mar. No en-

tanto, diferente de sensores distribuídos, sensores de pontos multiplexado não podem ser usados onde uma cobertura completa é necessária. A dimensão e a posição dos elementos sensores são fixados e o número de sensores multiplexados em uma fibra única é normalmente limitado a 50 a 100 elementos. Além disso, o projeto do sensor depende de componentes adicionais de fibra óptica levando a um sistema de arquitetura volumoso e oneroso. Também existe um esforço considerável para aumentar o número de sensores que podem ser eficientemente multiplexados em um comprimento de fibra única.

[0009] Reflectometria óptica no Domínio do Tempo (OTDR) é uma técnica bastante conhecida que tem sido usada para testar cabos de comunicações de fibra óptica. Para reduzir o efeito de interferências de dispersão coerente, que às vezes é referida Ruído Coerente de Rayleigh, uma fonte de luz de banda larga normalmente é usada. No entanto, também foram feitas propostas na US 5.194.847 [4] para usar o OTDR coerente para detectar intrusão ao detectar mudanças bruscas em um sinal de dispersão coerente de Rayleigh. Além disso, Shatalin et al.[5] descrevem a utilização de um coerente de Rayleigh como um sensor de alarme de fibra óptica distribuído.

[0010] O WO 2008/056143 [6] descreve um sensor de distúrbio similar ao da US 5.194.847 [4] usando uma fonte de laser semicondutora de realimentação distribuída. Um filtro de rede de fibra Bragg de preferência 7,5GHz é usado para rejeitar luz chilrada fora de banda e, portanto, melhorar a coerência do pulso de laser enviado no interior da fibra. No entanto, isto requer uma equiparação do comprimento de onda de laser com um filtro óptico de banda estreita, que resulta em uma variação de sinal de visibilidade sendo reduzido ao ser comparado a um sistema que usa uma fonte coerente muito alta como proposto pela US 5.194.847.

[0011] Técnicas similares também foram propostas para a detec-

ção de cabos de telecomunicação de fibra óptica enterrados (por exemplo, no WO 2004/102840 [7]), dentro de um perímetro de segurança (GB 2445364 [8] e US2009/0114386 [9]) e monitoramento de vibrações no fundo de poço (WO 2009/056855 [10]). No entanto, em resposta a estes sistemas de dispersão coerentes de Rayleigh têm sido limitado a um número de parâmetros tais como polarização e fenómeno de esvanecimento de sinal; a variação aleatória de dispersão de luz; uma resposta não coerente de Rayleigh não linear. Portanto, estas técnicas são usadas principalmente no caso de detecção e não fornecem medições quantitativas, tal como a medição de amplitude acústica, frequência e fase sobre uma faixa ampla de frequência e faixa dinâmica.

Sumário da Invenção

[0012] A presente invenção fornece um novo aparelho e métodos para medição quantitativa rápida de perturbação de campos ópticos transmitidos, refletidos e ou dispersos ao longo do comprimento de uma fibra óptica.

[0013] A presente invenção poderá ser usada para sensores distribuídos, sensores de ponto, ou a combinação de ambos.

[0014] Em especial, esta técnica pode ser aplicada em sensores distribuídos enquanto estende dramaticamente a velocidade e sensibilidade para permitir a detecção de perturbações acústicas em qualquer local ao longo de uma fibra óptica enquanto alcança uma resolução espacial fina. A presente invenção oferece vantagens singulares em uma grande extensão de sensores acústicos e aplicações de imagens. Os usos normais são para monitoramento de poços de gás e petróleo, para aplicações tais como as medições de fluxo distribuídos e/ou de imagem; imagens sísmicas, monitoramento de cabos longos e dutos; imagens acústicas no interior de grandes navios assim como em aplicações de segurança.

[0015] É um objetivo da presente invenção fornecer aparelhos de medição quantitativa de fase de alta sensibilidade e rapidez, frequência e amplitude da luz transmitida, refletida ou dispersa ao longo do comprimento de uma fibra óptica.

[0016] Na técnica anterior, acopladores ópticos eram usados em configurações de interferômetros de Michelson ou Mach-Zehnder onde a polarização entre os dois braços do interferômetro devem ser cuidadosamente controlados. O novo interferômetro na presente invenção permite um acoplamento m x m a ser utilizado, usando dispositivos não recíprocos, tais como os espelhos giratórios de Faraday e um circulador óptico, para fornecer interferência de luz compensada com um determinado deslocamento de fase pode ser medido em todas as portas de acoplador óptico e analisado muito rapidamente, como em várias dezenas de quilohertz.

[0017] As modalidades da invenção podem ser usadas em sensores de pontos acústicos multiplexados, sensores distribuídos, ou uma combinação de ambos. No caso de sensores distribuídos, pulsos de luz são na fibra e a modulação da fase da dispersão de luz é medida ao longo de várias dezenas de quilohertz. A fibra pode ser uma fibra padrão de telecomunicação e/ou cabo. Usando as técnicas descritas neste documento, o sistema sensor pode, portanto, detectar o campo acústico ao longo da fibra para fornecer um sensor acústico distribuído, pelo qual o comprimento dos elementos sensores pode ser selecionado por uma combinação ajuste de modulações do pulso de luz, o comprimento da trajetória no interferômetro, assim como a configuração da fibra de detecção.

[0018] Os dados coletados ao longo da fibra são automaticamente sincronizados e poderão ser combinados para fornecer imagens de campo coerente.

[0019] De acordo com um primeiro aspecto da invenção, é forne-

cido um aparelho interferômetro para um sistema de fibra óptica, o aparelho compreende:

[0020] um acoplador óptico possuindo uma porta de entrada e uma primeira e uma segunda portas acopladas às fibras ópticas que define uma primeira e segunda trajetórias ópticas;

[0021] os primeiro e segundo refletores dispostos respectivamente nas primeira e segunda trajetórias ópticas para refletir a propagação de luz nas primeira e segunda trajetórias ópticas de volta ao acoplador óptico para gerar sinal de interferência;

[0022] em que o acoplador óptico é configurado para direcionar os primeiro e segundo componentes de sinal de interferência respectivamente às primeira e segunda portas detectoras, e é configurado para direcionar um terceiro componente de sinal de interferência na direção da porta de entrada, e o aparelho compreende forma de meio para introduzir um deslocamento de fase entre o primeiro, segundo e terceiro componentes de sinal de interferência;

[0023] os primeiro e segundo fotodetectores conectados às primeira e segunda portas de detector do acoplador óptico e configurados para medir uma intensidade dos primeiro e segundo componentes de sinal de interferência nos respectivos deslocamentos de fase;

[0024] e em que o aparelho compreende um terceiro fotodetector conectado ao dispositivo óptico não recíproco e configurado para medir a intensidade do terceiro componente de sinal de interferência direcionado de volta em direção à fibra de saída.

[0025] O meio para a introdução do deslocamento de fase entre o primeiro, segundo e terceiros componentes de sinal de interferência pode ser o acoplador óptico, de preferência um acoplador óptico $m \times m$, onde $m \geq 3$. O dispositivo óptico não recíproco pode ser um circulador óptico.

[0026] As fibras ópticas e refletores podem ser configurados para

manter a polarização ou fornecer compensação de polarização para a propagação de luz nas primeira e segunda trajetórias ópticas. Os refletores podem ser os Espelhos Giratórios de Faraday (FRMs), permitindo o uso de fibras padrão (mantendo a não polarização).

[0027] O dispositivo óptico não recíproco pode ser configurado para receber sinal de luz e transmiti-lo para a porta de entrada do acoplador óptico.

[0028] Esta disposição fornece uma configuração econômica de componentes, que permite que todas as portas do acoplador óptico sejam usadas de forma efetiva. A disposição fornece uma porta "sobressalente" que pode ser usada em cascata de múltiplos interferômetros juntos, ou para acoplar a um detector adicional ou braço de interferômetro.

[0029] Outras características opcionais e preferidas deste aspecto da invenção são definidas pelas reivindicações. Além disso, as modalidades deste aspecto da invenção podem compreender características opcionais e preferidas a outros aspectos da invenção.

[0030] De acordo com um segundo aspecto da invenção é fornecido um sistema de interferômetro compreendendo um primeiro aparelho de interferômetro conforme reivindicado em qualquer reivindicação anterior, e um segundo aparelho interferômetro conforme reivindicado em qualquer das reivindicações precedentes, onde uma terceira porta de saída do acoplador óptico do primeiro aparelho interferômetro é acoplado a uma entrada do segundo aparelho de interferômetro.

[0031] O sistema de interferômetro pode compreender múltiplos aparelhos de interferômetro, em que as respectivas portas de saída do aparelho interferômetro são utilizadas como entrada de aparelhos sequenciais de interferômetro.

[0032] Os diferentes aparelhos de interferômetro poderão ter diferenças de comprimento de trajetória óptica diferentes. Isto facilita a se-

leção de diferentes resoluções espaciais em aplicações do sistema de interferômetro.

[0033] Outras características preferidas e opcionais deste aspecto da invenção são definidas pelas reivindicações. Além disso, as modalidades deste aspecto da invenção podem compreender características preferências e opcionais de outros aspectos da invenção.

[0034] De acordo com um terceiro aspecto da invenção é fornecido um sistema de fibras ópticas para o monitoramento de um sinal óptico, o sistema compreendendo :

[0035] uma fonte de luz;

[0036] uma fibra óptica lançada em um ambiente a ser monitorado e acoplado à fonte de luz;

[0037] um aparelho interferômetro conforme reivindicado em qualquer reivindicação de 1 a 14 e configurado para receber luz dispersa ou refletida da fibra óptica;

[0038] meio de capturar dados para coletar dados de saída dos fotodetectores do aparelho de interferômetro.

[0039] Outras características preferidas e opcionais deste aspecto da invenção são definidas pelas reivindicações. Além disso, as modalidades deste aspecto da invenção podem compreender características preferidas e opcionais de outros aspectos da invenção.

[0040] De acordo com um quarto aspecto da invenção é fornecido um método de monitorar perturbações acústicas, o método compreendendo :

[0041] fornecer uma fonte de luz, uma fibra óptica lançada no ambiente a ser monitorado e acoplado a uma fonte de luz, e um interferômetro configurado para receber sinal óptico pulsado da fibra óptica, o interferômetro compreendendo pelo menos duas trajetórias ópticas e pelo menos dois fotodetectores;

[0042] receber luz de dispersa ou refletida da fibra óptica no inter-

ferômetro, e gerar um sinal de interferência; introduzir um deslocamento de fase entre os primeiro e segundo componentes de sinal de interferência do sinal de interferência, e direcionar os primeiro e segundo componentes de sinal de interferência para os primeiro e segundo fotodetectores respectivamente;

[0043] medir a intensidade dos primeiro e segundo componentes de sinal de interferência nos respectivos deslocamentos de fase para fornecer o primeiro dado de intensidade e o segundo dado de intensidade;

[0044] processar os primeiro e segundo dados de intensidade para determinar o ângulo da fase óptica do sinal óptico e fornecer dados de ângulo de fase óptica.

[0045] processar os dados de fase óptica para determinar os dados de modulação de ângulo de fase óptica e;

[0046] identificar perturbações acústicas às quais a fibra óptica ficou exposta dos dados de modulação de ângulo de fase óptica.

[0047] A etapa de identificação de perturbações acústicas às quais a fibra óptica ficou exposta de preferência compreende caracterizar as perturbações acústicas.

[0048] O método pode compreender geração de sinal acústico de saída das perturbações acústicas caracterizadas.

[0049] Outras características preferidas e opcionais deste aspecto da invenção são definidas pelas reivindicações. Além disso, modalidades deste aspecto da invenção podem compreender características preferidas e opcionais de outros aspectos da invenção.

[0050] De acordo com um quinto aspecto da invenção é fornecido método de operar o interferômetro em um sistema óptico, o método compreendendo :

[0051] fornecer um interferômetro compreendendo uma entrada configurada para receber primeira luz transmitida, refletida ou dispersa

de uma primeira fonte de luz, pelo menos uma primeira e segunda trajetória óptica, e uma variedade de fotodetectores;

[0052] fornecer uma fonte de luz incoerente configurada para entrada de luz incoerente no interferômetro;

[0053] determinar um fator de normalização para um desvio de detector, um ganho relativo de fotodetector, e/ou uma taxa de acoplamento das trajetórias ópticas do interferômetro, ao inserir luz de uma fonte de luz incoerente e medir as saídas dos fotodetectores.

[0054] Outras características opcionais e preferenciais deste aspecto da invenção são definidas pelas reivindicações. Além disso, modalidades deste aspecto da invenção poderão compreender características preferidas e opcionais de outros aspectos da invenção.

Breve Descrição dos Desenhos

[0055] As modalidades da invenção e como colocar em prática são descritas na forma de exemplos com referência aos desenhos que acompanham, em que:

[0056] Figuras 1, 2, 3 e 4 mostram esquematicamente um novo aparelho de interferômetro de acordo com as modalidades relacionadas da invenção, compreendendo vários acopladores circuladores e de múltiplas fibras com diferentes trajetórias ópticas através do interferômetro, Espelho Giratório de Faraday e fotodetectores;

[0057] as figuras 5 e 6 mostram esquematicamente como os interferômetros podem ser cascadeados de acordo com as modalidades da invenção em série e/ou configurações em estrela;

[0058] a figura 7 mostra esquematicamente um sistema de sensor que utiliza o interferômetro de uma modalidade da invenção para medição rápida de luz dispersa e refletida de uma fibra óptica;

[0059] a figura 8 mostra esquematicamente um sistema de sensor distribuído que utiliza o interferômetro de uma modalidade da invenção para gerar uma série de pulsos, cada um com uma frequência diferen-

te;

[0060] a figura 9 é um diagrama em bloco representando um método de processamento de dados de acordo com a modalidade da invenção;

[0061] a figura 10 é um diagrama em bloco representando um método de calibrar o interferômetro de acordo com uma modalidade da invenção;

[0062] a figura 11 mostra esquematicamente uma modalidade na qual a fibra pode ser lançada como sensores lineares, sensores direcionais ou em um arranjo multidimensional de sensores.

Descrição Detalhada das Modalidades Preferenciais

[0063] A figura 1 mostra uma primeira modalidade, representada em geral em 100, de um novo interferômetro para a medição de uma amplitude óptica, fase e frequência de um sinal óptico. A luz que penetra de uma fonte de luz (não exibida) é preferencialmente amplificada no amplificador óptico 101, e transmitida ao filtro óptico 102. O filtro 102 filtra o exterior da banda de ruído de Emissão Amplificada Espontânea (ASE) do amplificador 101. A luz então penetra no circulador óptico 103 que é conectado a um acoplador óptico 3 x 3 104. Uma porção da luz é direcionada ao fotoreceptor 112 para monitorar a intensidade da luz de entrada. As outras porções de luz são direcionadas ao longo da primeira e segunda trajetória óptica 105 e 106, com uma diferença de comprimento entre as duas trajetórias. O Espelho Giratório de Faraday (FRM) 107 e 108 reflete a luz de volta através da primeira e segunda trajetória 105 e 106, respectivamente. Os espelhos giratórios de Faraday fornecem compensação de autopolarização ao longo de trajetórias ópticas 105 e 106 de forma que as duas porções de luz interferem eficientemente em cada porta do acoplador 3x3 104. O acoplador óptico 104 introduz deslocamentos de fase relativa de 0 grau, +120 graus e -120 graus ao sinal de interferência, de forma que

o primeiro, segundo e terceiro componente de sinal de interferência são produzidos, cada um em uma diferente fase relativa.

[0064] Os primeiro e segundo componentes de sinal de interferência são direcionados pelo acoplador óptico 104 dos fotodetectores 113 e 114, que medem a intensidade dos componentes de sinal de interferência respectivos.

[0065] O circulador 103 fornece uma trajetória eficiente para a entrada de luz e o retorno (terceiro) do componente de sinal de interferência através da mesma porta de acoplamento 104. O componente do sinal de interferência incidente no circulador óptico 103 é direcionado na direção do fotodetector 115 para medir a intensidade do componente do sinal de interferência.

[0066] As saídas dos fotodetectores 113, 114 e 115 são combinados para medir a fase relativa da entrada de luz, como descrito em maiores detalhes abaixo com referência as figuras 7 e 9.

[0067] Como opção, deslocadores de frequência 110 e 111 e/ou modulador óptico 109 podem ser usados ao longo das trajetórias 105 e 106 para o processamento de sinal heteródino. Em adição, os deslocadores de frequência de 110 e 111 poderão ser alterados de f_1 , f_2 para f_2 , f_1 respectivamente para reduzir qualquer efeito frequência-dependente entre as porções de propagação de luz através das trajetórias ópticas 105 a 106.

[0068] As modalidades acima descritas fornecem um aparelho novo adequado para a rápida medição quantitativa de perturbação de campos ópticos, em particular poderá ser usado para sensores distribuídos e multiplexados com alta sensibilidade e tempo rápido de resposta para cumprir com os requerimentos e aplicações tais como detecção acústica.

[0069] A figura 7 mostra uma aplicação de interferômetro da figura 1 para o detector distribuído de um sinal óptico de um sistema óptico

700. Ficará aparente que embora a aplicação seja descrita no contexto de detecção distribuída, poderá também se usado para sensor de ponto, por exemplo, ao receber luz refletida de um ou mais sensores de pontos acoplados à fibra óptica.

[0070] Nesta modalidade 700, a luz emitida a laser 701 é modulada por um sinal de pulso 702. Um amplificador óptico 705 é usado para impulsionar a luz a laser pulsada, e isto é seguido pelo filtro de passagem de banda 706 para filtrar o ruído ASE do amplificador. O sinal óptico é então enviado a um circulador óptico 707. Um filtro óptico 708 adicional poderá ser usado em uma porta do circulador 707. A luz enviada para a fibra de detecção 712, que, por exemplo, uma fibra de modo único ou uma fibra multimodo lançada em um ambiente em que deseja-se que as perturbações acústicas sejam monitoradas. O comprimento da fibra poderá ser isolado e usado como seção de referência 710, por exemplo, em uma localização "silenciosa" ou com um sinal de referência controlado. A seção de referência 710 poderá ser formada entre refletores ou a combinação de divisor de feixes e refletores 709 e 711.

[0071] A luz refletida e a luz dispersa gerada ao longo da fibra de sensor 712 é direcionada através do circulador 707 e para o interior do interferômetro 713. A operação detalhada do interferômetro 713 é descrita anteriormente com referência à Figura 1. Neste caso, a luz é convertida para sinais elétricos usando fotodetectores rápidos de baixo ruído 112, 113, 114 e 115. Os sinais elétricos são digitalizados e depois a modulação da fase óptica relativa ao longo da fibra de referência 710 e a fibra de sensor 712 são computadas usando uma unidade processador rápida 714 (como será descrito abaixo). A unidade processadora é sincronizada no tempo com o sinal de pulso 702. A diferença de comprimento de trajetória entre as trajetórias 105 e 106 definem a resolução espacial. As saídas do fotodetector poderão ser digitalizadas

para múltiplas amostras ao longo de uma dada resolução espacial. As múltiplas amostras são combinadas para melhorar a visibilidade do sinal e sensibilidade por um algoritmo de média ponderada combinando as saídas de fotodetector.

Processamento de Dados

[0072] A figura 9 representa esquematicamente um método 900 pelo qual o ângulo da fase óptica é determinado pelas saídas do fotodetector 113, 114, 115. A diferença do comprimento da trajetória entre a trajetória 105 e a trajetória 106 define a resolução espacial do sistema. As saídas do fotodetector poderão ser digitalizadas para múltiplas amostras ao longo de uma dada resolução espacial, isto é, os valores de intensidade são sobreamostragens. As múltiplas amostras são combinadas para melhorar visibilidade e sensibilidade do sinal por um algoritmo de média ponderada combinando com a saída do fotodetector.

[0073] As três medições de intensidade I_1 , I_2 , I_3 , dos fotodetectores 113, 114, 115 são combinadas nas etapas 902 para calcular a fase relativa e amplitude da luz dispersa ou refletida da fibra detectora. A fase relativa é calculada (etapa 904) a cada ponto de amostragem, e o método emprega sobreamostragem de modo que mais pontos de dados estão disponíveis do que necessários para a resolução espacial do sistema requerido. Métodos para o cálculo de fase relativa e amplitudes de três componentes de fases deslocadas de um sinal de interferência são conhecidos na literatura. Por exemplo, Zhiqiang Zhao et al. [12] e US 5.946.429 [13] descreve técnicas para demodulação de saídas de acopladores de 3 x 3 em aplicações de onda contínua de ondas multiplexada. As técnicas descritas podem ser aplicadas aos dados de série de tempo da presente modalidade.

[0074] Para cada ponto de amostragem, um fator V de visibilidade é calculado na etapa 906 a partir de três medições de intensidade I_1 ,

I_2 , I_3 , dos fotoreceptores 113, 114, 115, de acordo com a equação (1), para cada pulso.

Equação (1)

$$V = (I_1 - I_2)^2 + (I_2 - I_3)^2 + (I_3 - I_1)^2$$

[0075] Num ponto de baixa visibilidade, os valores de intensidade nos respectivos deslocamentos de fase são similares e, portanto, o valor de V é baixo. Caracterizando o ponto de amostragem de acordo com V permite uma média ponderada do ângulo da fase a ser determinado (etapa 908), ponderada na direção dos pontos de amostragem do ângulo com melhor visibilidade. Esta metodologia melhora a qualidade dos dados dos ângulos da fase 910.

[0076] Opcionalmente, o fator de visibilidade V também pode ser usado para ajustar (etapa 912) a sincronia da amostragem digital da luz para as posições de sinais máximo de sensibilidade. Estas modalidades incluem um digitalizador com ciclos de relógio variando dinamicamente, (que poderá se referir neste como "iclock"). O relógio variando dinamicamente pode ser usado para ajustar a sincronia das amostras digitalizadas nas saídas do fotodetector para a posição de sensibilidade de sinal máximo e ou deslocado das posições com pouca visibilidade.

[0077] Os dados do ângulo de fase são sensíveis a perturbações acústicas sentidas pela fibra de detecção. Na medida em que as ondas acústicas atravessam a fibra óptica, provoca uma contração e expansão na estrutura de vidro. Isto faz variar o comprimento da trajetória óptica entre a luz dispersa de dois locais na fibra (isto é, a luz se propagando para baixo de duas trajetórias no interferômetro), que é medido no interferômetro como uma mudança relativa de fase. Desta forma, os dados do ângulo da fase óptica poderão ser processados em 914 para medir o sinal acústico no ponto onde a luz é gerada.

[0078] Em modalidades preferenciais da invenção, o método do processamento de dados 900 é executado utilizando um processador

dedicado a tal como Arranjo de Porta Programável de Campo.

Calibração de Sensor

[0079] Para uma medição exata de fase, é importante medir os sinais de desvio e os ganhos relativos dos fotodetectores 113, 114 e 115. Estes podem ser medidos e corrigidos pelo método 1000, descritos com referência à Figura 10.

[0080] Cada fotodetector possui uma compensação de fotodetectores, isto é, a saída de voltagem do fotodetector quando nenhuma luz incide no fotodetector (que pode ser referido como desvio de "nível zero de luz". Como uma primeira etapa (em 1002) desligar a entrada de luz da fibra óptica do amplificador óptico 101. Quando desligado, o amplificador óptico 101 age como um atenuador eficiente, permitindo luz não significativa de alcançar os fotodetectores. As saídas dos fotodetectores são medidos (etapa 1004) nesta condição para determinar o desvio elétrico, o que forma um nível base para a calibração.

[0081] Os ganhos relativos de fotodetectores podem ser medidos, na etapa 1008, após ligar o amplificador óptico 101 enquanto a luz de entrada é desligada (etapa 1006). A emissão espontânea em-banda (i.e. Emissão Espontânea Amplificada que cai dentro da banda passa-faixa (102), que se comporta como uma fonte de luz incoerente pode então ser usada para determinar a normalização das correções deslocadas (etapa 1010) para calibrar a combinação da eficiência acoplada entre os braços de interferômetro e os ganhos de trans-impedâncias do fotodetector 113, 114 e 115. Este sinal também pode ser usado para medir o sinal deslocado, que é causado por uma emissão espontânea em-faixa.

[0082] Convenientemente, o amplificador óptico, que é um componente do interferômetro, é usado como uma fonte de luz incoerente sem um requerimento de uma fonte auxiliar. A incoerência da fonte é necessária para evitar efeitos de interferências no fotodetector, isto é,

o comprimento da coerência da luz deveria ser mais curta do que o comprimento da trajetória óptica do interferômetro. No entanto, para uma calibração precisa é preferível que a banda da fonte de frequência seja fechada, ou centralizada, em torno da frequência da luz da fonte de luz. O filtro 102 da banda passa-faixa é, portanto, selecionado para filtrar a luz com frequências fora da largura da banda da Emissão Espontânea Amplificada.

[0083] Quando usado em um sistema pulsado, tal como pode ser usado em um sensor distribuído, o método acima descrito pode ser usado entre os pulsos ópticos da fonte de luz, para efetivamente calibrar o sistema durante o uso, antes de cada pulso (ou selecionado) da fonte de luz com substancialmente nenhuma interrupção no processo de medição.

[0084] Variações da modalidade acima descrita estão dentro do escopo da invenção, e algumas modalidades de alternativas são descritas abaixo. A figura 2 mostra outra modalidade, representado geralmente em 200, de um novo interferômetro similar aquele demonstrado na figura 1, mas com um Espelho Giratório de Faraday 201 no lugar do fotodetector 112. Componentes similares são indicados por numerais referências similares. Neste caso, a interferência entre as diferentes trajetórias, que pode ter diferente comprimento de trajetória, pode se separada nas três frequências de batida f_1 , f_2 e $(f_2 - f_1)$. A disposição desta modalidade possui a vantagem de fornecer flexibilidade adicional na operação, por exemplo, uma frequência heteródina diferente pode fornecer diferentes modos de operação para gerar medições em diferentes resoluções espaciais.

[0085] A figura 3 mostra outra modalidade de um novo interferômetro, geralmente representado em 300, similar à disposição da figura 1, com os componentes similares indicados por referência numérica similar. No entanto, esta modalidade usa um acoplador 4x4 e uma tra-

jetória óptica adicional 301, deslocador de frequência 304, modulador de fase 303, espelho giratório de Faraday 302 e um fotodetector adicional 308. Neste caso a interferência entre as diferentes trajetórias, que poderão ter diferentes comprimentos de trajetória, poderá ser separada na frequência de três batidas (f_2-f_1), (f_3-f_2) e (f_3-f_1). Alternativamente, o espelho giratório de Faraday 302 pode ser substituído por um isolador ou uma fibra de extremidade correspondente de forma que nenhuma luz seja refletida através da trajetória 301, permitindo somente a interferência entre a trajetória 105 e 106.

[0086] Um acoplador $m \times m$ que gera componentes de sinal de interferência em diferentes deslocamentos de fase relativas também poderá ser usado em outras modalidades da invenção.

[0087] Afigura 4 exibe outra modalidade de um interferômetro. Neste caso, uma trajetória adicional é introduzida no interferômetro pela inserção do espelho rotativo de Faraday 402 ao invés de um fotodetector 112.

[0088] Em todas as modalidades acima descritas, mudanças ópticas podem ser usadas para alterar e/ou selecionar diferentes combinações de comprimentos de trajetória óptica através do interferômetro. Isto facilita a mudança entre diferentes medições de resolução espacial (correspondendo a diferentes comprimentos de trajetória selecionadas nos comprimentos de trajetórias ópticas).

[0089] As figuras 5 e 6 mostram exemplos de sistemas de interferômetro 500, 600 dispostos para serem usados em configuração em cascada ou configuração em estrela para permitir a medição de uma fase óptica relativa para diferenças de comprimento de trajetórias diferentes. Na figura 5, três interferômetros 501, 502, 503 tendo diferentes diferenças de comprimento de trajetórias (e, portanto, diferentes resoluções espaciais) são combinados em série. Na figura 6, quatro interferômetros 602, 603, 604 e 605 tendo diferentes diferenças de compri-

mentos de trajetórias (e portanto, diferentes resoluções espaciais) são combinados com interferômetros 602, 603, 604 em paralelo, e interferômetros 603 e 605 em série. Na figura 6, 601 é um acoplador 3 x 3, usado para separar a luz entre os interferômetros. A disposição 600 também poderá ser combinada com componentes multiplexados de divisão de comprimento da onda para fornecer saídas paralelas para diferentes ondas de comprimento óptico.

[0090] A figura 11 mostra uma modalidade com sensores distribuídos com a fibra sensora 702 sujeita a diferentes campos de perturbação 1102, 1104 e 1107. A fibra sensora poderá ser usada como sensores lineares 1103 e 1104, como sensores direcionais 1105 e 1106 ou como sensores de arranjo dimensional 1108, 1109 e 1110. Já que todas as medições são sincronizadas, elas podem ser processadas para aumentar a sensibilidade do sinal, alcançar uma vasta gama dinâmica e fornecer um campo de imagem usando técnicas de formação de feixe.

[0091] As modalidades descritas com referência às figuras 1 a 7 e 9 a 11 se referem a um aparelho e métodos de rápida medição quantitativa de perturbações acústicas de campos ópticos transmitidos, refletidos e ou dispersos ao longo do comprimento da fibra óptica. A invenção em seus vários aspectos pode ser aplicada ou implementada de outras formas, por exemplo, para monitorar o desempenho de um gerador de sinal óptico gerado pelo laser, e/ou para monitorar o desempenho de um gerador de sinal heteródino, e para gerar pulsos ópticos para transmissão em um sinal óptico. Um exemplo é descrito com referência à Figura 8.

[0092] A figura 8 mostra um sistema, representado de modo geral em 800, compreendendo um interferômetro 801 de acordo com uma modalidade da invenção, usado para gerar dois pulsos ópticos com uma frequência-deslocada em relação à outra. O interferômetro recebe

um pulso de entrada de um laser 701, via circulador óptico 103. Um acoplador óptico 3 x 3 104 direciona um componente do pulso de entrada para um fotodetector, e componentes para os braços do interferômetro. Um dos braços inclui um deslocador de frequência 110 e um sinal 805 RF. A interferência entre os dois pulsos é monitorada por um demodulador 802. A luz refletida pelos espelhos rotativos de Faraday 107 e 108 é combinada com o acoplador 809 usando um retardo 803 para corresponder ao comprimento da trajetória do interferômetro, de forma que o pulso de frequência deslocado e o pulso de entrada são sobrepostos. O acoplador 809 apresenta deslocamentos relativos de fases para o sinal de interferência, e o interferômetro consequentemente monitora três componentes de sinais de frequência heteródino em deslocamentos de fase relativos. O circulador óptico 103 passa os dois pulsos no interior da fibra detectora.

Revisão das características da invenção em seus vários aspectos e modalidades

[0093] Em um aspecto, a invenção fornece um aparelho de interferômetro óptico que pode fornecer múltiplas diferenças de trajetórias entre os sinais ópticos e fornecer sinais de interferência entre trajetórias ópticas diferentes com deslocamento fixo e/ou variável. O interferômetro utiliza componentes de divisão de feixes, dispositivo circuladores e espelhos rotativos de Faraday em uma nova configuração. Os sinais ópticos na saída do interferômetro são convertidos em sinais elétricos que são digitalizados para um processamento mais rápido. Os níveis de deslocamento dos sinais elétricos são removidos e sua amplitude é normalizada. Os deslocamentos de fase relativa dos sinais ópticos são determinados com precisão ao combinar os sinais elétricos normalizados.

[0094] Em outro aspecto, a invenção refere-se a um aparelho interferômetro que utiliza divisores de feixes e dispositivos não recípro-

cos para fornecer interferência de luz com dadas diferenças do deslocamento de fase que podem ser medidas em todas as portas de divisor de feixes, pelo qual a modulação da fase de relativa dr luz pode ser computada com muito exatidão e rapidamente, tal como a cada poucos nanosegundos. O interferômetro pode usar os componentes de fibra óptica tal como um acoplador m x m fundido de fibra óptica que é conectado a um circulador de fibra óptica a uma de suas portas; espelhos giratórios de Farady que refletem e, ao mesmo tempo, fornecem compensação de polarização para a luz propagando da através de diferentes trajetórias do interferômetro e fotodetectores que são usados para medir sinais de luz de interferência. A luz óptica de entrada poderá ser amplificada usando um amplificador de fibra óptica, e de preferência o interferômetro possui filtro óptico de banda passa-faixa para filtrar o ruído da banda de Emissão Espontânea Amplificada (ASE). O interferômetro pode fornecer compensação birrefringência para propagar a luz ao longo de diferentes trajetórias ópticas através do interferômetro. Isto fornece visibilidade suficientemente alta nas saídas do interferômetro.

[0095] Em outro de seus aspectos, a invenção fornece um método para compensação do deslocamento e o ganho de fotodetectores, e uma taxa de acoplamento dos braços do interferômetro, para normalizar os sinais de interferência resultantes usados para medir a fase relativa da luz modulada em quaisquer das reivindicações anteriores onde a fase relativa é medida pelo desligamento do amplificador óptico na trajetória dispersa; o deslocamento e ganho resultantes do fotodetector então sendo determinados pelo acionamento do amplificador enquanto a luz de entrada é desligada; o ASE do amplificador opcional então age como uma fonte de luz incoerente independente e , portanto, usa a luz incoerente que entra na entrada do interferômetro para normalizar as amplitudes do sinal relativo na saída dos fotodetectores.

O método poderá, portanto, usar a luz incoerente que entra na entrada do interferômetro para normalizar o sinal relativo de amplitudes na saída dos fotodetectores. Por exemplo, quando um pré-amplificador óptico é utilizado na entrada do interferômetro, a emissão espontânea de luz pode ser usada para medir a combinação de taxa de divisão dos braços do interferômetro e ganhos relativos dos fotodetectores e consequentemente normalizar as amplitudes do sinal relativo.

[0096] Outra característica adicional da presente invenção é usar os moduladores de fase e/ou deslocadores de frequência para deslocar a frequência relativa e ou variar a fase entre a trajetória óptica e o interferômetro. Deslocadores de frequência e/ou modulares de fase podem ser usados para fornecer sinais heteródinos e/ou para separar a luz de interferência resultante do sinal de diferentes trajetórias através do interferômetro.

[0097] Uma característica adicional de uma modalidade da invenção é a seleção de frequência do deslocador de frequência suficientemente alto de forma que pelo menos um ciclo de frequência de batida resulta no interior de uma resolução de pulso de luz. Diferentes deslocamentos de frequência podem ser usados entre diferentes trajetórias ópticas do interferômetro para a separação e/ou detecção do heteródino da fase entre diferentes trajetórias ópticas. O deslocamento de frequência entre as diferentes trajetórias ópticas podem ser alternadas para corrigir qualquer dependência de frequência dos sinais de saída do interferômetro.

[0098] Uma característica adicional de uma modalidade desta invenção é a seleção de diferentes trajetórias ópticas através do interferômetro tal como uso de comutadores ópticos. Os comutadores ópticos podem ser usados para selecionar diferentes trajetórias ópticas através do interferômetro e, portanto, selecionar uma medição de resolução de resolução espacial diferente. Outro aspecto da invenção se

refere a um sistema compreendendo um número de interferômetros cascadeados em uma série ou em uma configuração estrelada ou uma combinação de ambos.

[0099] A invenção também fornece um sistema que utiliza a luz pulsada para sensores multiplexados e/ou distribuídos pela medição de modulação de fase da luz refletida e/ou dispersa ao longo do comprimento da fibra com alta sensibilidade, alta gama dinâmica e uma alta velocidade acima de dezenas de quilohertz. Desta forma, a invenção pode fornecer um sistema sensor acústico multiplexado distribuído.

[00100] Uma característica adicional de uma modalidade da invenção é a digitalização de saídas do interferômetro, ou os fotodetectores do interferômetro, pelo menos duas vezes acima do intervalo de resolução espacial. Uma característica adicional de uma modalidade da invenção é combinar as saídas do interferômetro para determinar a medição insensível de pontos de amostra resultantes de qualquer sinal de desvanecimento da luz de forma a rejeitar e/ou fornecer um sinal de média ponderada de múltiplas amostras de luz através de uma dada medição de resolução espacial ou intervalo. Modalidades da invenção utilizam um digitalizador com ciclos de relógio variando dinamicamente, (o qual pode ser aqui referido como "iclock"), para ajustar a sincronia das amostras digitalizadas na saída do fotodetector para a posição de máxima sensibilidade de sinal e ou deslocado para longe de onde o desvanecimento de sinal de luz ocorre.

[00101] Modalidades desta invenção podem usar a luz a laser ou uma fonte de luz de banda larga. Combinação correspondente coerente com o mesmo resultado de atraso em um sinal de interferência que pode ser usado para medir a modulação de fase relativa de luz dispersa ou refletida ao longo da fibra. A invenção poderá usar divisões de comprimento de ondas multiplexadas e, de preferência, variar o deslocamento do tempo com relação a cada controle de modulação de fase-

cruzada entre os pulsos de luz e para permitir o processamento de múltiplos pulsos na detecção de fibra e sensibilidade-cruzada para permitir que sistema alcance uma resposta de frequência do sistema para fornecer uma amostragem espacial de resolução diferente e/ou posições, e/ou para permitir a rejeição eficiente de quaisquer pontos com baixa sensibilidade.

[00102] Uma característica adicional da modalidade da invenção é a seleção de diferentes resoluções espaciais pela qual a resposta de sensibilidade e frequência ao longo da fibra detectora pode ser ajustada, e a gama dinâmica pode ser aumentada.

[00103] A fibra detectora poderá ser uma fibra de modo singular, fibra de manutenção de polarização, uma fibra única de polarização, fibra multimodo e/ou uma fibra de fita, e poderá ser revestida e/ou cabeadas para aumentar ou suprimir sua sensibilidade.

[00104] Uma característica adicional de uma modalidade da invenção é a seleção de diferentes configurações de uma fibra para otimizar a sensibilidade, a frequência e a direcionalidade da fibra detectada em diferentes locais. A fibra pode ser lançada como sensores lineares, sensores de direção e sensores de arranjo multidimensional. A fibra pode ser disposta em uma área de superfície em uma trajetória contínua sem atravessar sobre outra parte da fibra para aumentar a sensibilidade.

[00105] A fibra poderá ser anexada na superfície de um navio para ouvir o ruído gerado no interior do navio para monitorar as mudanças no processo, fazer imagens acústicas do processo, assim como detectar qualquer vazamento.

[00106] Um outro aspecto fornece um aparelho usando um sensor acústico para a distribuição da medição de fluxo e imagem, no monitoramento de zonas perfuradas no poço e monitoramento de produção de areia. Por exemplo, para aplicações no poço, o perfil de ruído acús-

tico pode ser usado para medir o fluxo por perfilagem de ruído em cada local ao longo do poço. Em acréscimo, o espectro do ruído pode ser usado para identificar a fase do fluido. Mais técnicas de correção de espectro de ruído podem ser usadas ao longo da seção do poço para determinar a velocidade do som e também o rastrear correntes parasitas geradas no interior do fluxo para determinar com precisão as taxas de fluxo.

[00107] Os sistemas de sensor podem ser usados como um sensor acústico de distribuição, permitindo a determinação de medição de fluxo distribuído e imagem, monitoramento de zonas perfuradas e o monitoramento de produção de areia em poços de petróleo e gás e linhas de fluxo. A temperatura distribuída e as medições de tensão podem ser combinadas para aumentar a interpretação de dados do sensor acústico distribuído.

[00108] Outro aspecto fornece o aparelho de monitoramento de um duto onde a fibra detectora é lançada no interior do duto e transportada ao longo do duto pela arrasto do fluido para fornecer a medição do fluxo do ruído para diagnosticar o duto, assim como para a caracterização do fluxo e/ou de imagem.

[00109] Outras vantagens e aplicações da invenção serão evidentes para aqueles versados na técnica. Qualquer uma das características adicionais ou opcionais podem ser combinadas juntas e combinadas com qualquer um dos aspectos, como poderá ser evidente para aqueles versados na técnica.

Observações conclusivas

[00110] Como foi descrito acima, aparelho e métodos para medição quantitativa rápida de perturbações de campos ópticos transmitidos, refletidos e/ou distribuídos ao longo do comprimento da fibra óptica. Em especial, a invenção poder ser usada para distribuir sensores enquanto aumenta dramaticamente a velocidade e sensibilidade para

permitir a detecção de perturbações acústicas em qualquer área ao longo do comprimento de uma fibra óptica enquanto alcança resolução espacial fina. A presente invenção oferece vantagens singulares em uma ampla gama de detecção acústica e aplicações de imagem. É tipicamente utilizada no monitoramento de poços de petróleo e gás tal como para medição de fluxo distribuído e/ou imagem, monitoramento de cabos e dutos longos, imagens de grandes navios e também em aplicações de segurança.

Listagem de Referência:

- [1] US 6,555,807, Clayton et al.
- [2] WO 98/27406, Farhadiroushan et al.
- [3] US 7,355,163, Watley et al.
- [4] US 5,194,847, Taylor et al.
- [5] Shatalin, Sergey et al., "Interferometric optical time-domain reflectometry for distributed optical-fiber sensing", Applied Optics, Vol. 37, No. 24, pp. 5600 -5604, 20 August 1998.
- [6] WO 2008/056143, Shatalin et al.
- [7] WO 2004/102840, Russel et al.
- [8] GB 2445364, Strong et al.
- [9] US 2009/0114386, Hartog et al.
- [10] WO 2009/056855, Hartog et al.
- [11] WO 2007/049004, Hill et al.
- [12] Zhiqiang Zhao et al., "Improved Demodulation Scheme for Fiber Optic Interferometers Using an Asymmetric 3x3 Coupler", J. Lightwave Technology, Vol.13, No.11, November 1997, pp. 2059 - 2068
- [13] US 5,946,429, Huang et al

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho interferômetro para um sistema de fibra óptica para monitoração de perturbações acústicas, o aparelho compreendendo:

uma fonte de luz incoerente configurada para entrada de luz no aparelho interferômetro via um circulador óptico;

um acoplador óptico (104) tendo uma porta de entrada acoplada ao circulador óptico para receber luz de entrada e uma primeira porta detectora e uma segunda porta detectora acopladas às fibras ópticas que definem uma primeira trajetória óptica (105) e uma segunda trajetória óptica (106);

um primeiro e um segundo espelhos giratórios de Faraday (107, 108) dispostos respectivamente nas primeira e segunda trajetórias ópticas (105, 106) para refletir a luz propagando nas primeira e segunda trajetórias ópticas (105, 106) retornando para o acoplador óptico (104) a fim de gerar um sinal de interferência;

caracterizado pelo fato de que o acoplador óptico é (104) é configurado para introduzir um deslocamento de fase relativo ao sinal de interferência para obter um primeiro, segundo e terceiro componentes de sinal de interferência, o acoplador óptico é (104) sendo ainda configurado para direcionar o primeiro componente e o segundo componente de sinal de interferência respectivamente às primeira e segunda portas detectoras e direcionar o terceiro componente do sinal de interferência na direção da porta de entrada;

em que um primeiro fotodetector (113) e um segundo fotodetector (114) são conectados às primeira e segunda portas detectoras do acoplador óptico (104) e configurados para medir uma intensidade dos primeiro e segundo componentes de sinal de interferência nos respectivos deslocamentos de fase; e

um terceiro fotodetector (115) conectado ao circulador ópti-

co e configurado para medir a intensidade do terceiro componente de sinal de interferência direcionado de volta em direção ao circulador óptico de fibra via porta de entrada, o circulador óptico fornecendo um caminho para a luz de entrada e o terceiro componente do sinal de interferência através da porta de entrada do acoplador óptico;

o aparelho interferômetro compreendendo ainda meios para determinar ao menos um:

i) sinal de deslocamento do primeiro, segundo e terceiro fotodetectores, em que o sinal de deslocamento é a tensão de saída do fotodetector quando não há luz incidindo no dito fotodetector;

ii) ganho relativo de fotodetector; e/ou

iii) taxa de acoplamento das trajetórias ópticas do interferômetro, pela entrada de luz de uma fonte incoerente de luz no interferômetro e uma medição de saídas dos fotodetectores.

2. Aparelho interferômetro de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de ainda compreender um filtro passa-faixa (102) configurado para filtrar a luz da fonte de luz incoerente, de forma que a entrada de luz no interferômetro possua uma largura de banda em torno da frequência de luz transmitida, refletida ou dispersa refletida propagando através da fibra.

3. Aparelho interferômetro de acordo qualquer uma das reivindicações 1 a 2, caracterizado pelo fato de que a entrada de luz no interferômetro possui um comprimento de coerência mais curto do que o comprimento da trajetória óptica do interferômetro de forma que não é detectado nenhum sinal de interferência.

4. Aparelho interferômetro de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de ainda compreender:

meios para determinar um deslocamento de fotodetector elétrico para cada um dos fotodetectores das saídas dos fotodetectores

res em uma primeira condição, na qual a luz transmitida, refletida ou dispersa refletida propagando através da fibra é desacoplada do interferômetro e a fonte de luz incoerente é desligada de forma a não haver sinal de luz entrando no interferômetro; e

meios para determinar o deslocamento do fotodetector, um ganho relativo do fotodetector, e/ou uma taxa de acoplamento nas trajetórias ópticas do interferômetro das saídas dos fotodetectores em uma segunda condição na qual a luz transmitida, refletida ou dispersa refletida propagando através da fibra é desacoplada do interferômetro e a fonte de luz incoerente é ligada na luz de entrada do interferômetro.

5. Aparelho interferômetro de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de ainda compreender um amplificador óptico (101) configurado para receber luz transmitida, refletida ou dispersa refletida propagando através da fibra e saída de um sinal de luz amplificado para o interferômetro; em que a Emissão Espontânea Amplificada do amplificador óptico (101) é a fonte de luz incoerente.

6. Aparelho interferômetro de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de ainda compreender meios de correção de deslocamentos e normalização de sinais detectados nos fotodetectores utilizando o fator de normalização determinado, enquanto o interferômetro é operado em uma terceira condição, na qual o amplificador óptico (101) recebe um sinal de entrada de luz da fonte de luz e saída de sinal de luz amplificada para o interferômetro.

7. Aparelho interferômetro de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que os meios para determinar um fator de normalização e de meios para correção de deslocamentos e normalização de sinais detectados nos fotodetectores operam entre pulsos ópticos de sinais.

8. Método de monitoração de perturbações acústicas, o método caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

fornecimento de uma fonte de luz configurada para fornecer um sinal óptico pulsado a uma fibra óptica, em que a fibra óptica é implementada em um ambiente a ser monitorado e acoplado à fonte de luz, e um interferômetro configurado para receber luz dispersa e/ou refletida da fibra óptica conforme o sinal óptico pulsado percorre a fibra óptica, o interferômetro compreendendo pelo menos duas trajetórias ópticas (105, 106) e pelo menos três fotodetectores (112, 113, 114);

recebimento da luz dispersa e/ou refletida da fibra óptica no interferômetro, e geração de um sinal de interferência;

introdução de deslocamentos de fase relativos ao sinal do interferômetro para obter um primeiro, um segundo e um terceiro componentes de sinal de interferência do sinal de interferência, e direcionar o primeiro, o segundo e o terceiro componentes de sinal de interferência ao primeiro, segundo e terceiro fotodetectores (112, 113, 114) respectivamente;

medição da intensidade do primeiro, segundo e terceiro componentes de sinal de interferência em deslocamentos de fase respectivos;

processamento da intensidade medida para determinar um ângulo de fase óptico da luz dispersa e/ou refletida para obter dados de ângulo de fase óptico e dados de modulação de ângulo de fase óptico pertencentes a ela, e;

identificação de perturbações acústicas às quais a fibra óptica foi exposta dos dados de modulação de ângulo de fase óptico;

o método ainda compreende as etapas de determinar ao menos um:

i) sinal de deslocamento do primeiro, segundo e terceiro fotodetectores, em que o sinal de deslocamento é a tensão de saída do

fotodetector quando não há luz incidindo no dito fotodetector;

ii) um ou mais ganho(s) relativo(s) de fotodetector; e/ou

iii) uma ou mais taxa(s) de acoplamento das trajetórias ópticas do interferômetro, pela entrada de luz de uma fonte incoerente de luz no interferômetro e a medição de saídas dos fotodetectores.

9. Método de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de compreender a etapa de filtragem da luz da fonte de luz incoerente usando um filtro de passa-faixa (102), de forma que a entrada de luz no interferômetro possua uma largura de banda em torno da frequência de luz transmitida, refletida ou dispersa refletida propagando através da fibra.

10. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 8 a 9, caracterizado pelo fato de que a entrada de luz no interferômetro possui um comprimento coerente mais curto que o comprimento da trajetória óptica do interferômetro de forma que nenhum sinal de interferência é detectado.

11. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 8 a 10, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

determinação de um sinal de deslocamento para cada um dos fotodetectores das saídas dos fotodetectores em uma primeira condição, na qual a luz transmitida, refletida ou dispersa refletida propagando através da fibra é desacoplada do interferômetro e a fonte de luz incoerente é desligada de forma a não haver sinal de luz entrando no interferômetro; e

determinação do sinal de deslocamento, um ganho relativo do fotodetector, e/ou uma taxa de acoplamento nas trajetórias ópticas do interferômetro das saídas dos fotodetectores em uma segunda condição na qual a luz transmitida, refletida ou dispersa refletida propagando através da fibra é desacoplada do interferômetro e a fonte de luz incoerente é ligada na luz de entrada do interferômetro.

12. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 8 a 11, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

fornecimento de um amplificador óptico (101) configurado para receber luz transmitida, refletida ou dispersa refletida propagando através da fibra e saída de um sinal de luz amplificado para o interferômetro; e

utilização de uma Emissão Espontânea Amplificada do amplificador óptico (101) como fonte de luz incoerente.

13. Método de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de ainda compreender a etapa de:

operação do interferômetro em uma terceira condição, na qual o amplificador óptico (101) recebe um sinal de entrada de luz da fonte de luz e saída de sinal de luz amplificado para o interferômetro; e

correção de desvios e normalização de sinais detectados nos fotodetectores utilizando um fator de normalização.

14. Método de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de compreender a etapa de determinação de um fator de normalização e correção dos desvios e normalizar os sinais detectados nos fotodetectores entre os pulsos de sinal óptico.

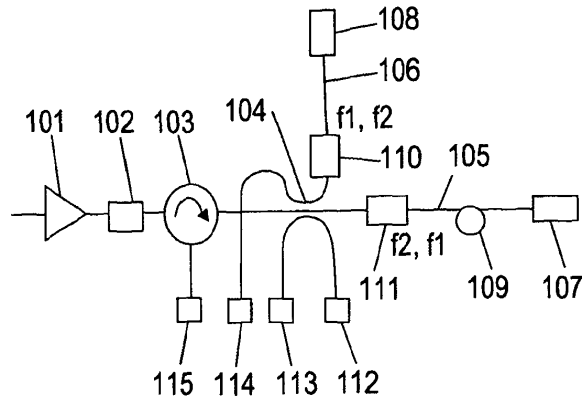


Fig. 1

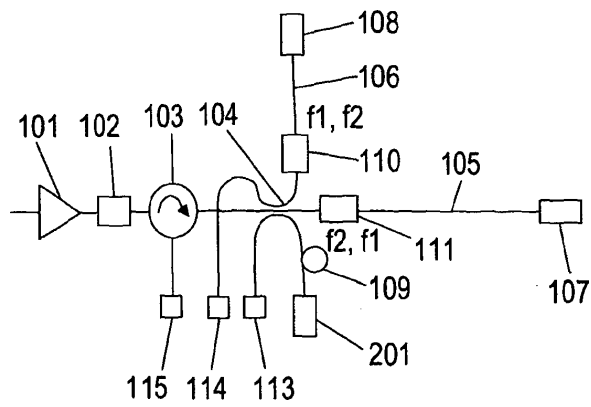


Fig. 2



FI

FI

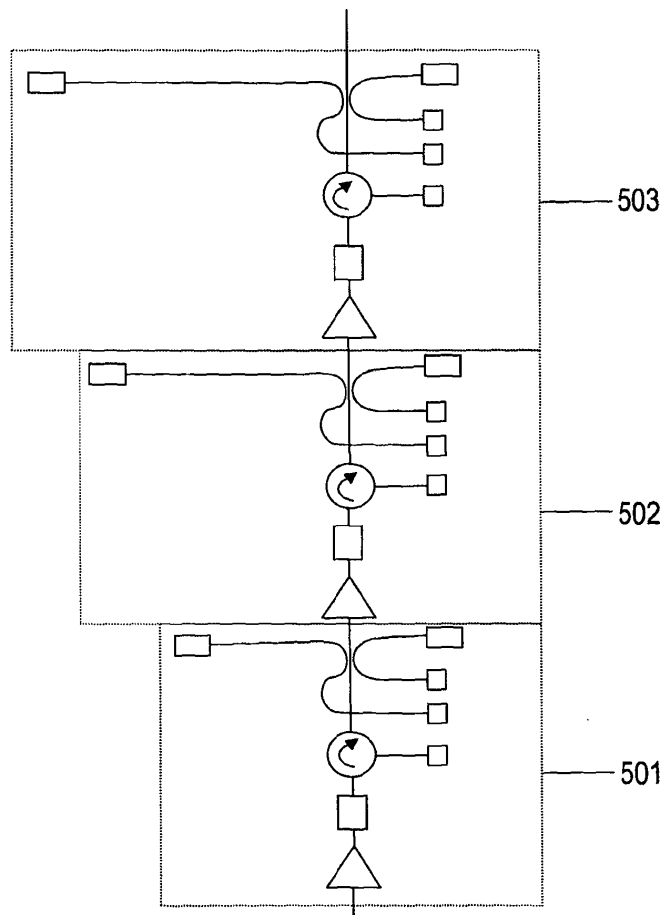


Fig. 5

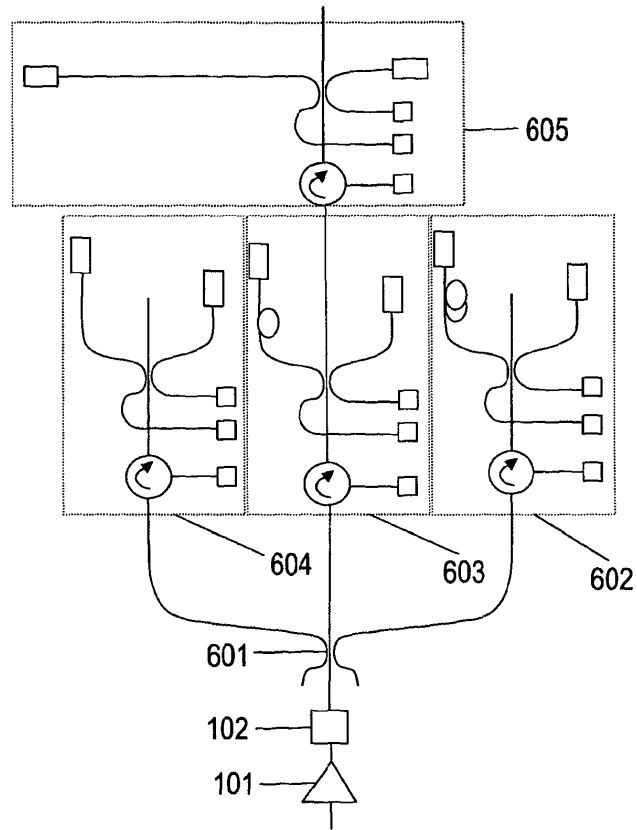


Fig. 6

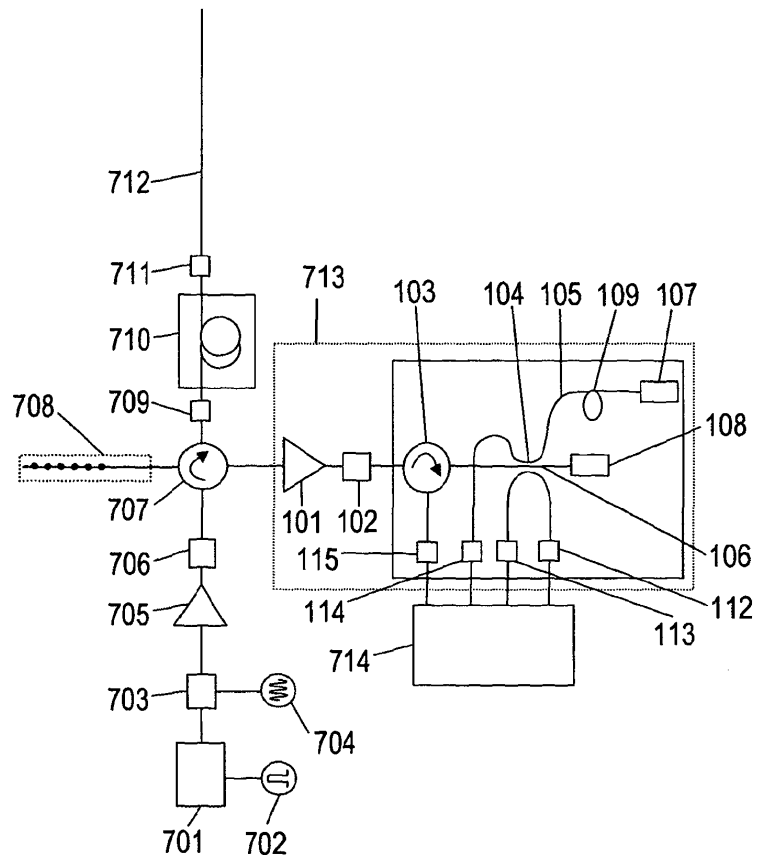


Fig. 7

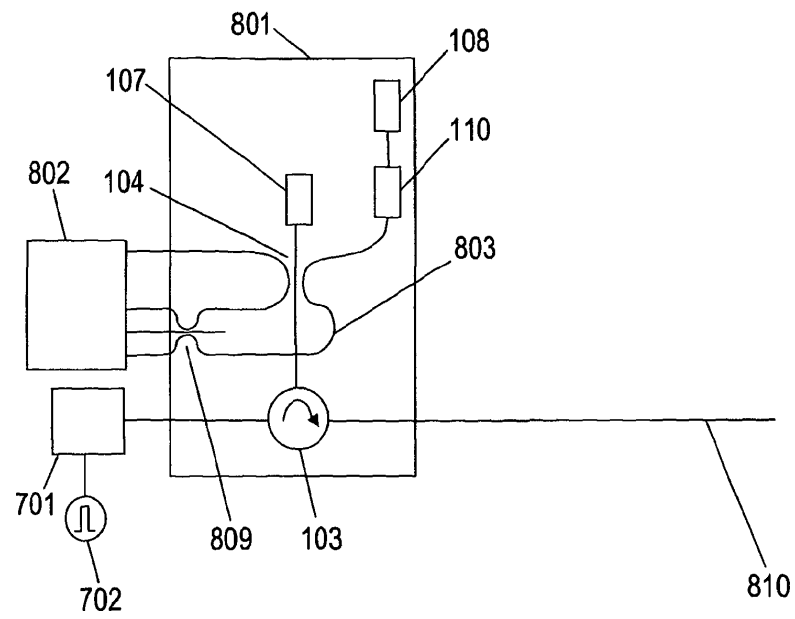
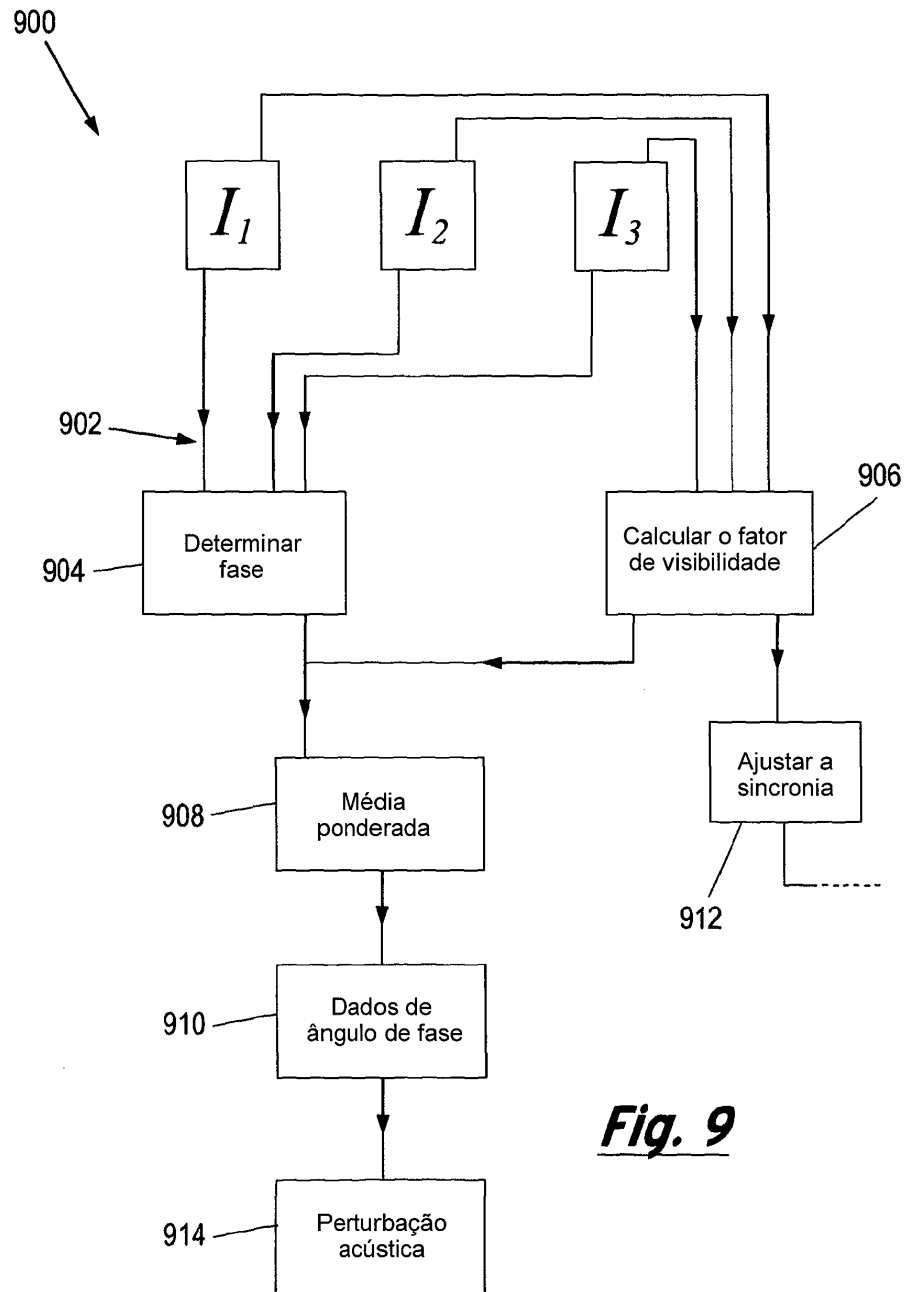
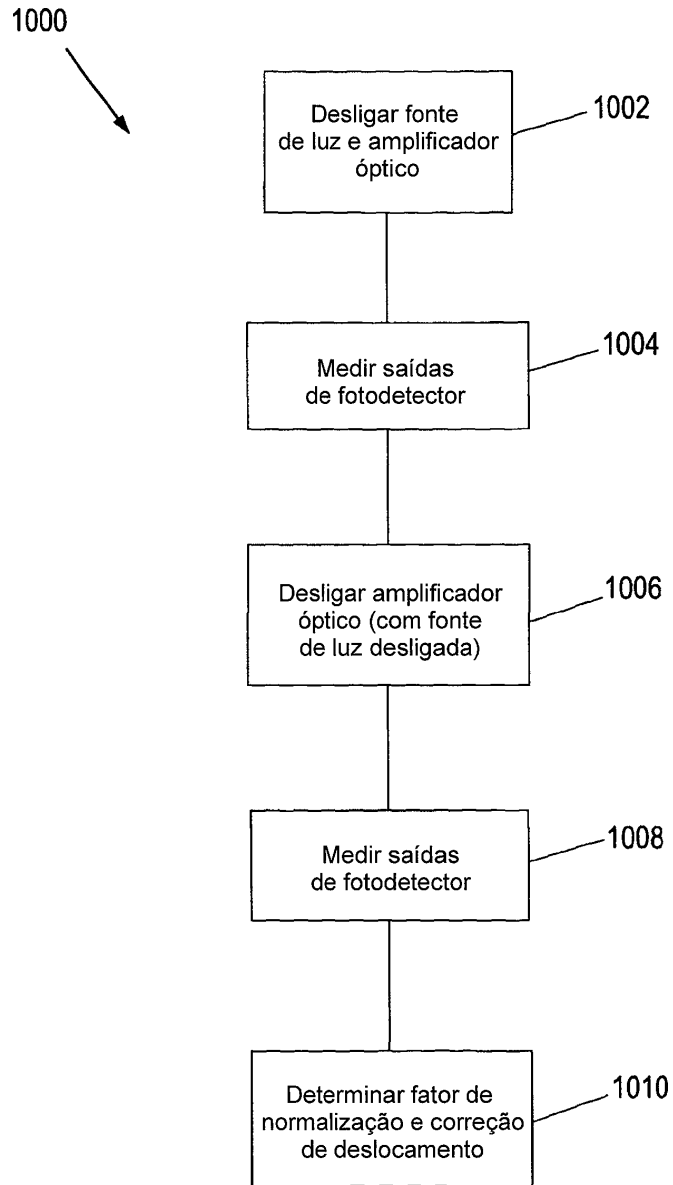


Fig. 8

***Fig. 9***

**Fig. 10**

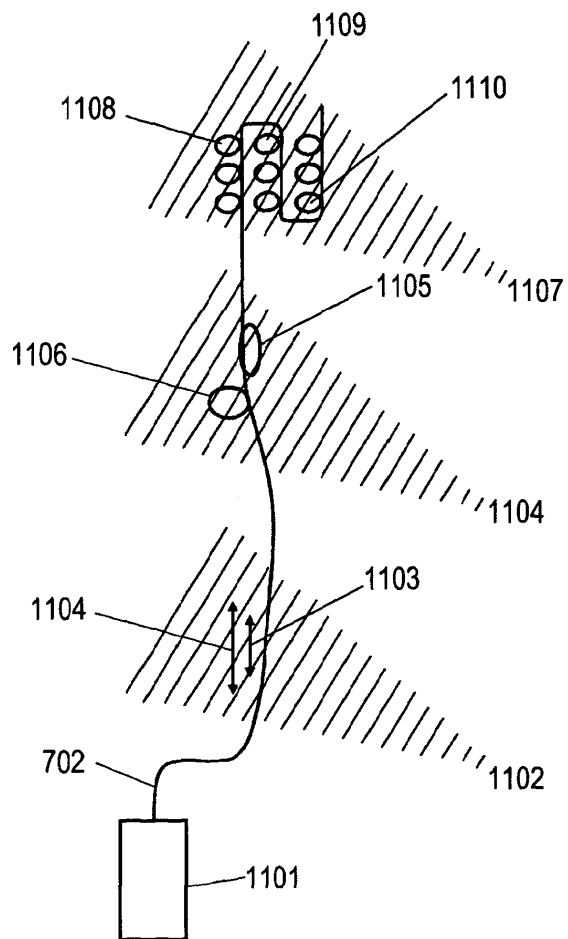


Fig. 11