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

(21) **PI0902280-5 A2**

* B R P I 0 9 0 2 2 8 0 A 2 *

(22) Data de Depósito: 13/07/2009
(43) Data da Publicação: 09/03/2011
(RPI 2096)

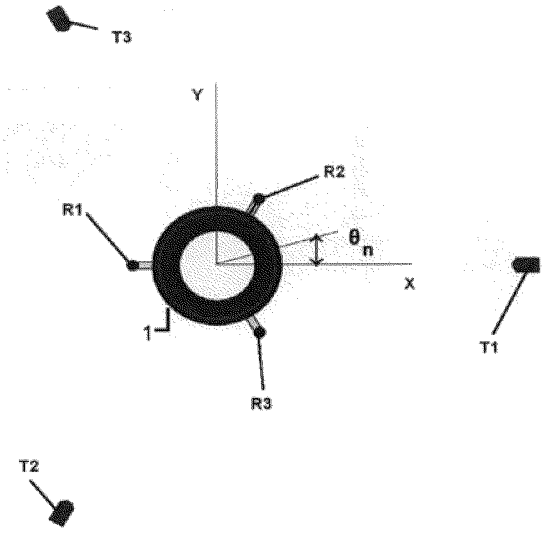
(51) Int.Cl.:
G01S 3/02
H04W 84/02
H04W 84/04

(54) Título: **SISTEMA PARA MONITORAR OS MOVIMENTOS DE LINHAS FLEXÍVEIS EM AMBIENTE SUBMARINO E MÉTODO ASSOCIADO**

(73) Titular(es): Petroleo Brasileiro S.A. - Petrobras

(72) Inventor(es): Cláudio Soligo Camerini, Jean Pierre Von Der Weild, Marcelo Roberto Jimenez, Marco Antônio Grivet Mattoso Maia, Miguel de Andrade Freitas

(57) Resumo: SISTEMA PARA MONITORAR OS MOVIMENTOS DE LINHAS FLEXÍVEIS EM AMBIENTE SUBMARINO E MÉTODO ASSOCIADO. O sistema é configurado com transmissores de sinais, montados em uma estrutura fixa, e receptores de sinais, solidários ao corpo da linha flexível, de modo que os receptores, dois a dois, tenham visada direta de um dos transmissores de sinais. O método associado ao sistema permite estimar, de modo contínuo, a rotação (ângulo 0_n) e a transíação (x_n,y_n) de uma linha flexível em ambiente submarino, em relação ao seu eixo central, sendo conhecidas as coordenadas de um ponto fixo no eixo central, a posição dos transmissores em relação ao eixo central, e a DTOA de um transmissor emitindo um sinal modulado que o identifique para os receptores, dois a dois.



PI0902280-5

SISTEMA PARA MONITORAR OS MOVIMENTOS DE LINHAS FLEXÍVEIS EM AMBIENTE SUBMARINO E MÉTODO ASSOCIADO

CAMPO DA INVENÇÃO

O sistema se insere no campo de monitoração dos movimentos de rotação e translação de um corpo, a partir da determinação de valores de diferenças do tempo de chegada de sinais - DTOA entre receptores montados de forma solidária ao corpo, sendo os sinais comunicados por transmissores montados em uma estrutura rígida. O sistema e o método associado são aplicáveis na produção de petróleo em ambiente submarino para estimar, com acurácia, os movimentos de uma linha flexível em relação ao seu eixo central.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

Na produção de petróleo em ambiente submarino são amplamente aplicados sistemas para estimar a posição, a direção e a orientação de corpos em relação a pontos de coordenadas conhecidas, sendo utilizados componentes eletrônicos que possibilitam projetar sistemas para monitorar a movimentação de corpos em tempo real.

Na técnica, são conhecidos os métodos de medição do tempo de chegada - TOA *"Time of Arrival"* de um sinal digital traduzidos em distâncias entre dois pontos, isto é, um transmissor e um receptor. Entretanto, para aplicações que exigem maior acurácia, preferencialmente são efetuadas medições de DTOA diferença do tempo de chegada - DTOA *"Differential Time of Arrival"* de um sinal digital por comparação de duas versões de um mesmo sinal transmitido para dois receptores.

Os sinais digitais úteis são preferencialmente selecionados entre códigos binários com dimensões maximais e propriedades correlacionais específicas, sendo o DTOA determinado por circuitos eletrônicos ou por técnicas de processamento de sinais, em que a posição do pico da função de correlação dos códigos indica o instante correspondente à diferença do tempo de propagação.

Os picos da função de correlação entre códigos binários têm a propriedade de serem bastante estreitos, melhorando significativamente a resolução da medição quando comparado com sistemas convencionais que utilizam vários ciclos de uma portadora de sinais. E, de um modo geral, quanto mais estreito for o sinal, melhor é a resolução da medição, e quanto maior a largura do sinal, mais energia é transmitida, aumentando o alcance que o sinal pode propagar no meio.

A patente US 7,304,911 trata de um sistema capaz de fornecer a posição e a direção de um objeto que transmite um sinal acústico. Entretanto, não é determinada a orientação do objeto, mas, sim, a sua direção relativa ao receptor. A direção é obtida pela determinação de valores de DTOA por correlação cruzada de sinais codificados, sendo favorecida a correlação entre os sinais pela proximidade de dois receptores e sendo comuns a ambos receptores os erros nos tempos de propagação enquanto considera-se desprezível qualquer ruído de propagação.

Formas alternativas para a determinação da rotação de objetos também já foram estudadas, a exemplo da patente US 6,710,719 que ensina um sistema para determinar a orientação de objetos onde um sinal emitido pelo objeto é recebido em múltiplos receptores fixos. A orientação do objeto é estimada utilizando as amplitudes relativas dos sinais recebidos, conhecendo-se o diagrama de radiação do transmissor. Naturalmente este método fornece apenas uma medida aproximada da rotação que pode ser conferida ou melhorada se o objeto possuir dois transmissores.

No caso específico de monitorar os movimentos de linhas flexíveis na produção de petróleo em ambiente submarino é prática comum a aplicação de sistemas projetados para atender à norma API 17B - "Recommended Practice for Flexible Pipe".

Os movimentos de linhas flexíveis em ambiente submarino estão

associados à ocorrência de falhas de grande prejuízo econômico, ambiental e de segurança operacional. Estas questões estão amplamente divulgadas na literatura específica, como, por exemplo, em técnicas para monitorar a integridade estrutural da conexão de superfície que suportam as linhas flexíveis em plataformas de produção de petróleo, tais como ensinam as patente US 7,296,480 e US 7,268,541.

Desta forma, o sistema e método associado, descritos a seguir, aplicam uma técnica de medição de DTOA para monitorar, com acurácia, os movimentos de rotação e translação de linhas flexíveis na produção de petróleo em ambiente submarino, com maior robustez quando comparado aos sistemas conhecidos.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Em instalações submarinas na produção de petróleo, o sistema provê a monitoração dos movimentos de uma linha flexível em relação a um ponto de fixo, pela estimação, de modo contínuo, independente e simultâneo, da rotação (ângulo θ_n) e da translação (coordenadas x_n,y_n) da linha flexível em relação ao seu eixo central em condição de equilíbrio estático.

O sistema aplica a técnica de medição da diferença do tempo de chegada - DTOA de sinais digitais, modulados em ondas portadoras, preferencialmente em ondas acústicas, em uma configuração com pelo menos três transmissores fixados em pontos definidos em uma estrutura fixa e pelo menos três receptores solidários à linha flexível suscetível à movimentação.

Os transmissores de sinais, de modo independente, são posicionados de modo a permitir a comunicação direta de um sinal digital modulado aos receptores de sinais, dois a dois. A partir dos receptores, os sinais, em duas versões de um mesmo sinal transmitido, são comutados para determinar os valores de DTOA.

Um módulo processador de dados implementa um método associa-

do ao sistema de monitoração, operando sobre os valores de DTOA para estimar os movimentos de rotação e/ou de translação da linha flexível onde o sistema é instalado.

Desta forma, o sistema e o método associado possibilitam a determinação do ângulo de rotação e das coordenadas de translação dos movimentos de linhas flexíveis, simultaneamente, com robustez na medição de variações da velocidade de propagação de um sinal digital propagado em ambiente submarino.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A Fig.1 ilustra uma instalação submarina com uma linha flexível (1), suscetível à movimentação, suportada por um conector fixo (3) a uma plataforma, não representada, com a disposição de três transmissores de sinais (T1, T2, e T3) montados em uma estrutura rígida em um plano (2) paralelo à plataforma e três receptores de sinais (R1, R2, e R3) montados solidários à linha flexível (1).

A Fig.2 ilustra uma instalação do sistema em uma linha flexível (1), vista de topo, com indicação das variáveis de medição do método associado, ou seja, ângulo de rotação θ e coordenadas (x,y) do ponto fixo que corresponde ao eixo central da linha flexível em condição de equilíbrio estático em ambiente submarino.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

Genericamente, em ambiente submarino de produção de petróleo, como ilustra a Fig.1, uma linha flexível (1) desce do deck de uma plataforma em direção ao leito do mar, sendo suportada por um conector (3) fixo e, a partir deste, a linha flexível é suscetível à movimentação em relação à plataforma. O conector (3) define a posição de um plano (2) paralelo à plataforma, para a instalação do sistema descrito a seguir para monitorar os movimentos de uma linha flexível em ambiente submarino.

O sistema e o método associado objetivam estimar, em tempo real, de modo independente e simultâneo, o ângulo de rotação θ_n e as

coordenadas (x_n,y_n) de translação dos movimentos de uma linha flexível em relação a um ponto central que define as coordenadas (x,y,z) e o plano com coordenadas (x,y), conforme ilustra a Fig.2. O ponto central fixo corresponde ao eixo central da linha flexível, em condições de equilíbrio estático, e coincide com a posição do conector (3).

Como ilustra a Fig.1, para uma configuração com três transmissores (T1, T2 e T3) montados em uma estrutura rígida em um plano (2) e três receptores (R1, R2 e R3) montados de forma solidária à linha flexível (1), o sistema é constituído pelas as seguintes partes:

a) transmissores de sinais digitais, em número de pelo menos três, montados em uma estrutura rígida com um ponto central fixo de coordenadas (x,y,z) definindo um plano de coordenadas (x,y) paralelo à plataforma e um eixo (z) central, sendo os transmissores distribuídos em posições radiais entre 2m e 10m em relação ao eixo (z) que corresponde ao eixo central da linha flexível em condição de equilíbrio estático;

b) receptores de sinais digitais, em número de pelo menos três, montados de forma solidária à linha flexível em forma de anel na parede externa, a uma distância entre 10 cm e 50 cm do eixo central e entre 2m e 10m no eixo (z) abaixo do plano da estrutura rígida, de modo que, dois a dois, tenham visada direta para comunicação com pelo menos um dos transmissores de sinais;

c) módulo eletrônico de comando dos transmissores de sinais digitais, acionando-os alternadamente, sendo o sinal direcionado aos receptores de sinais e propagado de modo independente em meio homogêneo no ambiente submarino;

d) módulo eletrônico de comutação dos sinais digitais nos receptores, dois a dois, que determina os valores de DTOA - diferença do tempo de chegada de um sinal;

e) módulo processador de dados que implementa um método de

cálculo, operando sobre os valores de DTOA entre receptores, dois a dois, sendo definidas as coordenadas (x,y,z) do ponto central fixo e as coordenadas relativas à posição dos transmissores, para estimar, de modo independente e simultâneo, os movimentos de rotação (ângulo θ_n) e de translação (coordenadas x_n,y_n) da linha flexível em relação ao ponto central fixo de coordenadas (x,y,z).

As partes do sistema podem estar fisicamente afastadas, sendo que, os módulos eletrônicos de comando e de comutação podem integrar um único módulo, bem como serem interligados entre si e aos respectivos transmissores e receptores por meio de cabos elétricos.

O módulo eletrônico de comando dos transmissores de sinais deve operar de modo independente do módulo de comutação dos sinais dos receptores, sendo a transmissão de sinais efetuada em intervalos regulares.

O arranjo do sistema também prevê a comunicação direcional de sinais por ondas portadoras sem a interligação por cabos elétricos entre transmissor e receptores.

Em um sistema assim configurado, com os sinais digitais modulados em ondas portadoras e os valores de DTOA entre duas versões de um mesmo sinal que retornam dos receptores, monitora-se de modo independente e simultâneo os movimentos de rotação (ângulo θ_n) e de translação (coordenadas x_n,y_n) de uma linha flexível em relação a um ponto fixo central fixo de coordenadas (x,y,z) que correspondem aos movimentos da linha flexível em relação ao seu eixo central em condição de equilíbrio estático.

Os sinais podem ser comunicados em ondas portadoras acústicas, de luz ou de rádio, sendo preferencialmente modulados em ondas portadoras na frequência de ultrassom com transdutores que operam na freqüência de 40 kHz.

Quando a comunicação se dá por ondas portadoras de luz ou de

rádio frequência, os valores de DTOA são determinados com o auxílio de um interferômetro.

Os sinais modulados na freqüência do ultrassom são codificados em uma sequência digital com propriedades de autocorrelação suficientes para estimar com acurácia melhor que ½ grau os movimentos da linha flexível em relação ao seu eixo central. Neste caso a sequência digital permite determinar os valores de DTOA por correlação cruzada dos sinais e identificação do pico de correlação no módulo eletrônico de comutação dos sinais.

O método associado ao sistema, em uma configuração típica como ilustra a Fig. 2, é implementado por um módulo processador de dados de modo a estimar, de modo contínuo, a rotação (ângulo θ_n) e a translação (coordenadas x_n,y_n) de uma linha flexível em ambiente submarino, em relação ao seu eixo central, sendo conhecidas as coordenadas (x,y,z) do ponto fixo central, as posições relativas dos transmissores, operando sobre os valores determinados de DTOA de cada transmissor que comunica um sinal modulado que o identifica, para os receptores, dois a dois.

Como a distância entre os receptores, dois a dois, é pequena, menor que um metro, quando comparada à distância até os transmissores montados na estrutura fixa, o percurso do sinal é praticamente o mesmo para os receptores, dois a dois, e as interferências no sinal comunicado se cancelam, uma vez que qualquer variação nas condições de propagação da portadora vai afetar igualmente as duas versões do sinal.

O desenvolvimento método que implementa o sistema é apresentado a seguir, para uma configuração típica conforme ilustra a Fig.2, com sinais entre três transmissores T1, T2 e T3 e três receptores R1, R2 e R3, sendo determinados três valores (m_1, m_2 e m_3) de DTOA.

T 1 → R 2 e R3 → m_1

T 2 → R 3 e R1 → m_2

T 3 → R1 e R2 → m_3

A leitura dessas expressões é a de que um módulo eletrônico de comando aciona cada transmissor (T1,T2, e T3) que comunica um sinal digital para os receptores (R1, R2 e R3), dois a dois, retornando para o módulo eletrônico de comutação duas versões de um mesmo sinal para determinar valores (m_1, m_2 e m_3) de DTOA.

O método de cálculo desenvolvido para o sistema considera sua origem equivalente a um ponto central de coordenadas (x,y,z) de uma linha flexível onde o sistema é instalado, com transmissores *Ti* e receptores *Ri* segundo a seguinte sequência lógica de etapas apresentadas de modo simplificado:

a) os vetores relativos às posições dos transmissores *Ti* e dos receptores *Ri* são definidos em relação às coordenadas (x,y,z), por:

$$\vec{T}_1=\begin{bmatrix} T_{1x} \\ T_{1y} \\ T_{1z} \end{bmatrix} \quad \vec{T}_2=\begin{bmatrix} T_{2x} \\ T_{2y} \\ T_{2z} \end{bmatrix} \quad \vec{T}_3=\begin{bmatrix} T_{3x} \\ T_{3y} \\ T_{3z} \end{bmatrix} \quad \vec{R}_1=\begin{bmatrix} R_{1x} \\ R_{1y} \\ R_{1z} \end{bmatrix} \quad \vec{R}_2=\begin{bmatrix} R_{2x} \\ R_{2y} \\ R_{2z} \end{bmatrix} \quad \vec{R}_3=\begin{bmatrix} R_{3x} \\ R_{3y} \\ R_{3z} \end{bmatrix}$$

b) os vetores para o movimento de translação (Δ) e para o movimento de rotação (U_ϕ), são definidos por:

$$U_\phi=\begin{bmatrix} \cos\phi & -\sin\phi & 0 \\ \sin\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad \vec{\Delta}=\begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_{3y} \\ \delta_{3z} \end{bmatrix}$$

c) a posição modificada dos receptores *Ri* se dá pelas seguintes expressões:

$$\vec{R}_1'=U_\phi R_1+\vec{\Delta} \qquad \vec{R}_2'=U_\phi R_2+\vec{\Delta} \qquad \vec{R}_3'=U_\phi R_3+\vec{\Delta}$$

d) a diferença entre as distâncias entre um transmissor T_i e dois receptores *Rj* e *Rk* correspondem a uma permutação cíclica de 1, 2 e 3, segundo a expressão:

$$\left\|\vec{T}_i-\vec{R}_j\right\|-\left\|\vec{T}_i-\vec{R}_k\right\|$$

e) somando para todos os transmissores T_i e notando que i, j e k devem formar uma permutação par de 1, 2, 3, o desenvolvimento matemático resulta na expressão:

$$\sum_{\substack{i=1 \\ \sigma(i,j,k)=1}}^{3}\left(\left\|\vec{T}_i-\vec{R}_j\right\|-\left\|\vec{T}_i-\vec{R}_k\right\|\right)=$$
$$=\frac{\vec{T}_1}{\left\|\vec{T}_1\right\|}\cdot U_\phi(\vec{R}_3-\vec{R}_2)+\frac{\vec{T}_2}{\left\|\vec{T}_2\right\|}\cdot U_\phi(\vec{R}_1-\vec{R}_3)+\frac{\vec{T}_3}{\left\|\vec{T}_3\right\|}\cdot U_\phi(\vec{R}_2-\vec{R}_1)$$
$$-\Delta\cdot U_\phi\left[\vec{R}_1\left(\frac{1}{\left\|\vec{T}_2\right\|}-\frac{1}{\left\|\vec{T}_3\right\|}\right)\vec{R}_2\left(\frac{1}{\left\|\vec{T}_3\right\|}-\frac{1}{\left\|\vec{T}_1\right\|}\right)\vec{R}_3\left(\frac{1}{\left\|\vec{T}_1\right\|}-\frac{1}{\left\|\vec{T}_2\right\|}\right)\right]$$

f) para que a expressão seja independente do vetor para o movimento de translação (Δ), impõem-se a restrição da igualdade de distância entre os transmissores:

$$\left\|\vec{T}_1\right\|=\left\|\vec{T}_2\right\|=\left\|\vec{T}_3\right\|$$

g) desse modo resulta a expressão:

$$\sum_{\substack{i=1 \\ \sigma(i,j,k)=1}}^{3}\left(\left\|\vec{T}_i-\vec{R}_j\right\|-\left\|\vec{T}_i-\vec{R}_k\right\|\right)=$$
$$=\frac{\vec{T}_1}{\left\|\vec{T}_1\right\|}\cdot U_\phi(\vec{R}_3-\vec{R}_2)+\frac{\vec{T}_2}{\left\|\vec{T}_2\right\|}\cdot U_\phi(\vec{R}_1-\vec{R}_3)+\frac{\vec{T}_3}{\left\|\vec{T}_3\right\|}\cdot U_\phi(\vec{R}_2-\vec{R}_1)$$

h) expandindo-se a expressão em termos das componentes dos vetores tem-se:

$$\sum_{\substack{i=1 \\ \sigma(i,j,k)=1}}^{3} \left(\|\vec{T}_i - \vec{R}_j\| - \|\vec{T}_i - \vec{R}_k\| \right) =$$

$$= \cos\phi \left(det \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ R_{1x} & R_{2x} & R_{3x} \\ \frac{T_{1x}}{\|\vec{T}_1\|} & \frac{T_{2x}}{\|\vec{T}_2\|} & \frac{T_{3x}}{\|\vec{T}_3\|} \end{vmatrix} + det \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ R_{1y} & R_{2y} & R_{3y} \\ \frac{T_{1y}}{\|\vec{T}_1\|} & \frac{T_{2y}}{\|\vec{T}_2\|} & \frac{T_{3y}}{\|\vec{T}_3\|} \end{vmatrix} \right)$$

$$- \sin\phi \left(det \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ R_{1y} & R_{2y} & R_{3y} \\ \frac{T_{1x}}{\|\vec{T}_1\|} & \frac{T_{2x}}{\|\vec{T}_2\|} & \frac{T_{3x}}{\|\vec{T}_3\|} \end{vmatrix} - det \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ R_{1x} & R_{2x} & R_{3x} \\ \frac{T_{1y}}{\|\vec{T}_1\|} & \frac{T_{2y}}{\|\vec{T}_2\|} & \frac{T_{3y}}{\|\vec{T}_3\|} \end{vmatrix} \right)$$

$$+ det \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ R_{1z} & R_{2z} & R_{3z} \\ \frac{T_{1z}}{\|\vec{T}_1\|} & \frac{T_{2z}}{\|\vec{T}_2\|} & \frac{T_{3z}}{\|\vec{T}_3\|} \end{vmatrix}$$

i) definindo as constantes A, B e C que dependem da geometria do sistema, por:

$$A = det \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ R_{1x} & R_{2x} & R_{3x} \\ \frac{T_{1x}}{\|\vec{T}_1\|} & \frac{T_{2x}}{\|\vec{T}_2\|} & \frac{T_{3x}}{\|\vec{T}_3\|} \end{vmatrix} + det \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ R_{1y} & R_{2y} & R_{3y} \\ \frac{T_{1y}}{\|\vec{T}_1\|} & \frac{T_{2y}}{\|\vec{T}_2\|} & \frac{T_{3y}}{\|\vec{T}_3\|} \end{vmatrix}$$

$$B = det \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ R_{1y} & R_{2y} & R_{3y} \\ \frac{T_{1x}}{\|\vec{T}_1\|} & \frac{T_{2x}}{\|\vec{T}_2\|} & \frac{T_{3x}}{\|\vec{T}_3\|} \end{vmatrix} - det \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ R_{1x} & R_{2x} & R_{3x} \\ \frac{T_{1y}}{\|\vec{T}_1\|} & \frac{T_{2y}}{\|\vec{T}_2\|} & \frac{T_{3y}}{\|\vec{T}_3\|} \end{vmatrix}$$

$$C = det \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ R_{1z} & R_{2z} & R_{3z} \\ \frac{T_{1z}}{\|\vec{T}_1\|} & \frac{T_{2z}}{\|\vec{T}_2\|} & \frac{T_{3z}}{\|\vec{T}_3\|} \end{vmatrix}$$

e sendo $D^2 = A^2 + B^2$ e $\Omega = arctg\ (A/B)$, tem-se finalmente:

$$\phi = \Omega - \arcsin\left(\frac{1}{D}\left[\sum_{\substack{i=1 \\ \sigma(i,j,k)=1}}^{3} \left(\|\vec{T}_i - \vec{R}_j\| - \|\vec{T}_i - \vec{R}_k\|\right) - C\right]\right)$$

Portanto, conforme apresentado para uma configuração ilustrada na Fig.2 com três transmissores (T1, T2 e T3) e três receptores (R1, R2 e R3), para estimar apenas a rotação (ângulo θ) o método utiliza uma aproximação de primeira ordem que independe do movimento de translação da linha flexível, segundo a aproximação:

ângulo $\theta = \Omega$ – arco seno [1/D ($m_1+m_2+m_3 - C$)]

sendo:

- m_1, m_2 e m_3 , valores de DTOA medidos , respectivamente; e
- C, D e Ω, constantes que dependem apenas da configuração de montagem dos transmissores e receptores.

Experimentalmente, esta aproximação é adequada para valores típicos de distâncias dos transmissores distribuídos em posições radiais entre 2m e 10m em relação ao eixo (z), correspondente ao eixo central da linha flexível em condição de equilíbrio estático, e dos receptores em igual distância abaixo do plano da estrutura rígida; a distância entre 10 cm e 50 cm dos receptores ao eixo (z) é definida de acordo com o diâmetro da linha flexível, sendo grande a tolerância quanto à geometria da disposição dos transmissores e receptores, geometria esta que é considerada nas constantes C, D e Ω da equação.

Para estimar a rotação (ângulo θ_n) e a translação (coordenadas x_n,y_n), simultaneamente, podem ser associados ao sistema diversos métodos de cálculo, tais como o de mínimos quadrados e o de otimização. Entretanto, o método mais adequado traduzido em termos de acurácia e facilidade de implementação é o método de Newton que permite calcular a raiz de um sistema de três equações não lineares com três variáveis (coordenadas x_n,y_n e ângulo θ_n). Como cada determinação de valores de DTOA fornece uma dimensão de superfície como lugar geométrico, o

método de Newton encontra a interseção destas três superfícies e calcula iterativamente as coordenadas (x_n,y_n) e o ângulo θ_n, sendo que o método converge muito rapidamente.

Portanto, o sistema para monitorar os movimentos de corpos suscetíveis à movimentação e sua implementação segundo o método associado, constitui uma alternativa para sistemas de monitoração que provê resultados em tempo real, de modo independente e simultâneo para estimar a rotação e a translação de linhas flexíveis em condições adversas em ambientes submarinos.

REIVINDICAÇÕES

1- Sistema para monitorar os movimentos de uma linha flexível suportada por um conector fixo em uma plataforma de produção de petróleo em ambiente submarino, caracterizado por incluir as seguintes partes:

a) transmissores de sinais digitais, em número de pelo menos três, montados em uma estrutura rígida com um ponto central fixo de coordenadas (x,y,z) definindo um plano de coordenadas (x,y) paralelo à plataforma e um eixo (z) central, sendo os transmissores distribuídos em posições radiais entre 2m e 10m em relação ao eixo (z) que corresponde ao eixo central da linha flexível em condição de equilíbrio estático;

b) receptores de sinais digitais, em número de pelo menos três, montados de forma solidária à linha flexível em forma de anel na parede externa, a uma distância entre 10 cm e 50 cm do eixo central e entre 2m e 10m no eixo (z) abaixo do plano da estrutura rígida, de modo que, dois a dois, tenham visada direta para comunicação com pelo menos um dos transmissores de sinais;

c) módulo eletrônico de comando dos transmissores de sinais digitais, acionando-os alternadamente, sendo o sinal direcionado aos receptores de sinais e propagado de modo independente em meio homogêneo no ambiente submarino;

d) módulo eletrônico de comutação dos sinais digitais nos receptores, dois a dois, que determina os valores de DTOA - diferença do tempo de chegada de um sinal;

e) módulo processador de dados que implementa um método de cálculo, operando sobre os valores de DTOA entre receptores, dois a dois, sendo definidas as coordenadas (x,y,z) do ponto central fixo e as coordenadas (x_t,y_t) relativas à posição dos transmissores, para estimar, de modo independente e simultâneo, os movimentos de rotação (ângulo θ_n) e de translação (x_n,y_n) da linha flexível em rela-

ção ao ponto central fixo de coordenadas (x,y,z).

2- Sistema de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o módulo eletrônico de comando dos transmissores e o módulo eletrônico de comutação dos sinais dos receptores integrarem um único módulo interligado ao módulo processador de dados.

3- Sistema de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por as partes estarem fisicamente afastadas entre si e interligados por cabos elétricos.

4- Sistema de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por as partes estarem fisicamente afastadas entre si, sem conexão por cabos elétricos entre transmissores e receptores, sendo os sinais digitais propagados no meio homogêneo.

5- Sistema de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por os sinais digitais serem modulados em ondas acústicas, de luz ou de rádio frequência.

6- Sistema de acordo com a reivindicação 5, caracterizado por os sinais modulados em ondas de luz serem registrados por meio de um interferômetro para determinar valores de DTOA.

7- Sistema de acordo com a reivindicação 5, caracterizado por os sinais modulados em ondas de rádio frequência por meio de um interferômetro para determinar os valores de DTOA.

8- Sistema de acordo com a reivindicação 5, caracterizado por os sinais serem modulados em frequência de ultrassom para determinar os valores de DTOA.

9- Sistema de acordo com a reivindicação 5, caracterizado por os sinais digitais serem codificados em uma sequência digital com propriedades de auto-correlação suficientes para estimar com acurácia melhor que ½ grau a rotação da linha flexível em relação ao seu eixo central.

10- Sistema de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por a sequência digital permitir determinar valores de DTOA por correlação

cruzada dos sinais por identificação do pico de correlação no módulo eletrônico de comutação de sinais.

11- Método associado ao sistema definido na reivindicação 1, caracterizado por estimar, de modo contínuo, a rotação (ângulo θ_n) e a translação (x_n,y_n) de uma linha flexível em ambiente submarino, em relação ao seu eixo central, sendo conhecidas as coordenadas (x,y,z) do ponto fixo central, as posições relativas dos transmissores (x_t,y_t), e os valores de DTOA determinado dos transmissores comunicando um sinal digital modulado, que o identifique, para os receptores, dois a dois.

Fig. 1

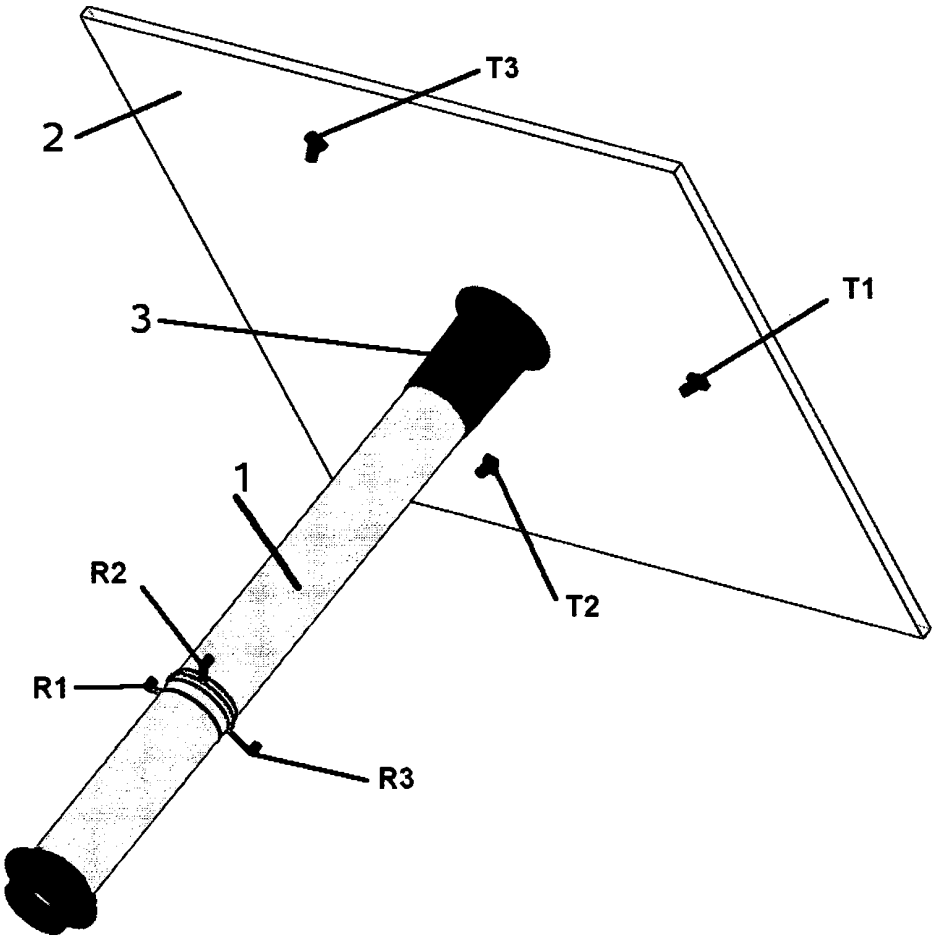
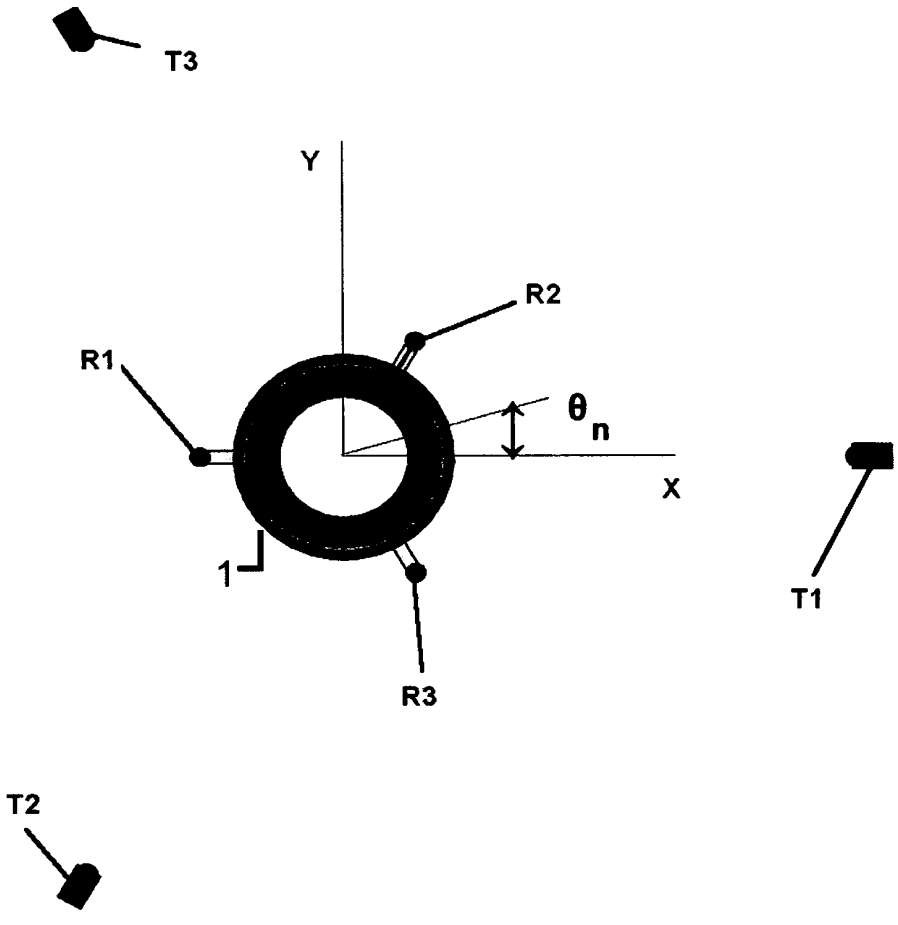


Fig. 2



BI0902280-5

RESUMO

SISTEMA PARA MONITORAR OS MOVIMENTOS DE LINHAS FLEXÍVEIS EM AMBIENTE SUBMARINO E MÉTODO ASSOCIADO

O sistema é configurado com transmissores de sinais, montados em uma estrutura fixa, e receptores de sinais, solidários ao corpo da linha flexível, de modo que os receptores, dois a dois, tenham visada direta de um dos transmissores de sinais. O método associado ao sistema permite estimar, de modo contínuo, a rotação (ângulo θ_n) e a translação (x_n,y_n) de uma linha flexível em ambiente submarino, em relação ao seu eixo central, sendo conhecidas as coordenadas de um ponto fixo no eixo central, a posição dos transmissores em relação ao eixo central, e a DTOA de um transmissor emitindo um sinal modulado que o identifique para os receptores, dois a dois.