



INSTITUTO NACIONAL
DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

(11) Número de Publicação: **PT 1410060 E**

(51) Classificação Internacional:
G01S 3/802 (2006.01)

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

(22) Data de pedido: 2002.05.27	(73) Titular(es): ATLAS ELEKTRONIK GMBH SEBALDSBRÜCKER HEERSTRASSE 235 28305 BREMEN DE
(30) Prioridade(s): 2001.06.20 DE 1012972	
(43) Data de publicação do pedido: 2004.04.21	
(45) Data e BPI da concessão: 2006.08.25 012/2006	(72) Inventor(es): HANS-JOACHIM STEINER DE ULRICH STEIMEL DE
	(74) Mandatário: PEDRO DA SILVA ALVES MOREIRA RUA DO PATROCÍNIO, N.º 94 1350-232 LISBOA PT

(54) Epígrafe: **PROCESSO PARA A DETERMINAÇÃO PASSIVA DE DADOS DO ALVO**

(57) Resumo:

RESUMO

"PROCESSO PARA A DETERMINAÇÃO PASSIVA DE DADOS DO ALVO"

Na determinação passiva de dados do alvo são recebidos ruídos do alvo com uma estação de recepção sonora a bordo de um veículo de transporte e são medidos ângulos de orientação em relação a um alvo. A partir de uma posição do alvo estimada com um termo de trajecto dependente da velocidade e erros de componentes de trajecto e de componentes de velocidade, determina-se um ângulo de orientação estimado e forma-se um diferencial de ângulos de orientação em relação ao ângulo de orientação medido e minimiza-se iterativamente. Para possibilitar uma determinação dos dados do alvo com adaptação temporal aos requisitos tácticos, sem introdução de valores de medição de outros sensores a bordo e sem efectuar manobras próprias, realiza-se de acordo com a invenção uma análise de frequência do ruído do alvo e mede-se uma frequência de recepção. Um desvio *Doppler* de uma frequência de emissão estimada com um erro de frequência é determinado a partir das posições do alvo estimadas e das suas alterações temporais na direcção da orientação e estima-se assim uma frequência *Doppler*. O diferencial de frequências entre a frequência de recepção medida e a frequência *Doppler* é minimizada iterativamente em conjunto com o diferencial de ângulos de orientação. A posição estimada ao atingir o mínimo fornece os dados do alvo.

DESCRIÇÃO

"PROCESSO PARA A DETERMINAÇÃO PASSIVA DE DADOS DO ALVO"

A presente invenção refere-se a um processo para a determinação passiva de dados do alvo por meio de recepção selectiva direccionada de ondas sonoras do tipo mencionado no conceito genérico da reivindicação 1.

Para determinar a posição, velocidade e rota de um alvo, *p. ex.* barco, submarino ou torpedo como dados do alvo, sem que o veículo de transporte se auto-denuncie, *p. ex.* um barco ou submarino, recebem-se com uma estação de recepção sonora, ondas sonoras do ruído do alvo e medem-se ângulos de orientação em relação ao alvo. A partir destes ângulos de orientação estima-se, em conjunto com as posições próprias do veículo de transporte, uma posição do alvo e calcula-se um ângulo de orientação estimado pertinente. Iterativamente diminui-se a diferença entre os ângulos de orientação medido e estimado até ficar abaixo de um limite de erro admissível. A posição estimada fundamental é reconhecida como posição do alvo.

A partir de uma posição inicial do alvo, que é escolhida *p. ex.* aleatoriamente como posição de partida num primeiro feixe de orientação ou é conhecida por meio de outros sensores a bordo, são calculadas para o alvo posições a partir de componentes *x-y* estimadas e a partir destas determinam-se ângulos de orientação estimados. O veículo de transporte desloca-se numa rota constante para as medições do ângulo de

orientação durante um período de tempo previamente estabelecido e percorre um trajecto que é designado por rumo próprio. Cada um dos ângulos de orientação medidos, são comparados com os ângulos de orientação estimados e forma-se um diferencial de ângulos de orientação, em cujo mínimo o ângulo de orientação estimado fornece o ângulo de orientação real aproximado até um erro residual. O erro residual depende de um limite que pode ser predefinido. Um sistema de filtragem deste tipo é descrito por exemplo no documento DE 3446658 C2. O tempo de iteração deste sistema de filtragem é determinado decisivamente por meio de *inputs* adicionais. A título de exemplo introduz-se a posição inicial ou valores auxiliares, que são determinados por meio da observação ou de valores de medição de outros sensores a bordo do veículo de transporte, *p. ex.* observações com o periscópio ou medições de radar. A partir destes valores auxiliares são calculados os coeficientes de filtro que conduzem a uma primeira estimação melhorada da posição do alvo.

O objectivo da presente invenção consiste em conseguir um processo do tipo mencionado no conceito genérico da reivindicação 1, em que, sem manobras próprias e sem introdução de valores de medição de outros sensores a bordo do veículo de transporte, seja possível uma determinação dos dados do alvo segura e adequada em termos de tempo aos requisitos tácticos.

Este objectivo é atingido de acordo com a invenção, através das características da parte de caracterização da reivindicação 1.

Após uma detecção do alvo, os sinais de recepção, reunidos selectiva e direcionalmente em sinais de grupos do sistema transdutor electroacústico, por exemplo uma base em ferradura ou

antena lateral a bordo de um submarino como veículo de transporte ou uma antena de arrasto rebocada por um barco ou por um submarino, são submetidos a uma transformação de Fourier e é determinada a frequência das linhas espectrais no espectro de frequências dos sinais de grupos. A frequência da linha espectral com o maior nível ou o intervalo de frequência de linhas espectrais adjacentes, é utilizada como frequência de recepção, juntamente com o ângulo de orientação medido, para a estimação dos dados do alvo. São estimadas posições do alvo e determinam-se para tal ângulos de orientação estimados. Entre os ângulos de orientação medido e estimado determina-se um diferencial de ângulos de orientação e além disso estimam-se a partir das mesmas posições do alvo estimadas e das suas alterações temporais um desvio *Doppler* e uma frequência de emissão irradiada ou emitida pelo alvo. A frequência de emissão estimada sofre um desvio de frequência conforme o desvio *Doppler* estimado e forma a frequência *Doppler* estimada, da qual se deduz a frequência de recepção. A diferença entre a frequência de recepção e a frequência *Doppler* estimada é utilizada como diferencial de frequências em conjunto com o diferencial de ângulos de orientação, para a determinação dos dados do alvo segundo o algoritmo do mínimo quadrado.

A vantagem do processo de acordo com a invenção, conforme a reivindicação 1, consiste na utilização, para a estimação do ângulo de orientação e do desvio *Doppler*, dos mesmo dados estimados do alvo, nomeadamente as posições do alvo estimadas. A análise de frequência do sinal de grupos, necessária para a determinação da frequência de recepção, realiza-se normalmente numa estação de recepção sonora, servindo por exemplo, para aumentar a precisão da orientação ou separar alvos de vários alvos detectados sob um ângulo de orientação ou classificar

alvos e assim não representa qualquer trabalho adicional de processamento de sinais. A partir da frequência de recepção medida e da presunção de uma velocidade de deslocação normal de uma embarcação é pode-se estimar, de forma simples, uma possível frequência de emissão do alvo como valor inicial. Esta frequência de emissão ou é a frequência de uma linha espectral no ruído da deslocação do alvo ou é um sinal de emissão emitido pelo alvo. Por meio da incorporação da frequência de recepção na determinação dos dados do alvo tem-se a vantagem de ser possível uma determinação dos dados do alvo sem manobrar o veículo de transporte, num curto espaço de tempo. Uma outra vantagem consiste na possibilidade de se separarem dois alvos que se deslocam durante algum tempo sob o mesmo ângulo de orientação, em relação ao veículo de transporte, visto que as suas frequências de recepção divergem entre si devido a diferentes desvios *Doppler*. Os desvios *Doppler* apresentam uma notável diferença visto que as componentes de velocidade radial entre o veículo de transporte e cada um dos dois alvos têm de se distinguir quando o ângulo de orientação em relação aos dois alvos não se altera.

Se o veículo de transporte se mover a uma velocidade constante, num chamado rumo próprio, numa rota constante, altera-se então a frequência de recepção em função da a própria componente de velocidade radial e da velocidade radial do alvo, que é orientada na mesma direcção. No caso de se conhecer a velocidade própria, a percentagem própria no desvio *Doppler* pode ser eliminada e considerar-se apenas e unicamente a percentagem do alvo. Para além da alteração de frequência ao longo do tempo, o chamado desvio de frequência, uma alteração do ângulo de orientação ao longo do tempo ocorre durante a deslocação ao longo do rumo próprio. O tempo que dura até se poder estimar de

um modo estável os dados do alvo, é chamado tempo de convergência. O tempo de convergência é tanto menor quanto maior for o desvio de frequência enquanto se percorre um rumo próprio. Experiências com dados de medição a bordo de um submarino demonstraram que durante uma deslocação sem manobras próprias e com um desvio de frequência de poucos Hertz se atingiu uma estimação estável da rota, da distância e da velocidade do alvo após menos de 10 min. Neste caso, a velocidade do alvo foi de 10 kts, a velocidade do veículo de transporte 6 kts, a distância inicial entre o veículo de transporte e o alvo 6 km e o ângulo de orientação ao início da medição -45° . No caso de uma estimação dos dados do alvo apenas tendo em conta o ângulo de orientação não seria possível chegar a uma convergência. Por meio da medição adicional da frequência de recepção e da estimação de uma frequência de emissão com desvio *Doppler* é possível uma estimação dos dados do alvo, podendo ser realizada num curto espaço de tempo.

No aperfeiçoamento vantajoso do processo de acordo com a invenção, conforme a reivindicação 2, para determinar a frequência de recepção recorre-se à conhecida análise *Lofar*, tal como descrita por exemplo em L. Kühnle "Classification and Identification - CAI- by Submarine Sonars", Naval Forces Nov. 1987, p. 27 - 31. No caso da recepção com uma antena de arrasto é também apropriada uma estimação de dados do alvo, de alvos muito afastados, devido ao reduzido amortecimento das ondas sonoras de baixa frequência no meio de transmissão e à boa convergência das ondas sonoras, sendo a precisão da medição do ângulo de orientação suficientemente grande devido ao reduzido ângulo de abertura.

Se não houver à disposição qualquer antena de arrasto como sistema transdutor electroacústico será vantajoso efectuar a análise *Lofar* no caso da recepção com uma antena lateral, um chamado hidrofone de costado, e uma análise *Demon* no caso da recepção com uma base em ferradura, uma chamada antena fisicamente adaptada, em que o ruído recebido é desmodulado numa filtragem passa-banda e são determinadas as frequências de linhas espectrais do sinal desmodulado. Estas frequências encontram-se na mesma banda de frequência que as linhas espectrais determinadas pela análise *Lofar* e são causadas pelas rotações da hélice e pelo número das pás da hélice, tal como é descrito no artigo Navalforces, etc.

No caso da análise *Lofar* e da análise *Demon* obtêm-se espectros de frequências com várias linhas espectrais, em que a linha espectral com a frequência mais baixa identifica as rotações da hélice. No caso de esta frequência não ser recebida, o intervalo entre linhas espectrais adjacentes corresponde a esta frequência. Para a determinação dos dados do alvo podem-se utilizar as próprias frequências ou este intervalo de frequências como frequência de recepção.

A precisão da análise de frequência e a determinação da frequência de recepção incluem-se directamente na precisão da estimação dos dados do alvo. De acordo com o aperfeiçoamento do processo de acordo com a invenção, conforme a reivindicação 4, não se utiliza apenas uma única frequência mas sim as frequências de várias linhas espectrais são reunidas e formam a frequência de recepção. A vantagem consiste em especial em ser desnecessário estimar para cada frequência individualmente frequências de emissão e desvios *Doppler*, mas incluir-se sim apenas uma única frequência de recepção na estimação dos dados

do alvo. Assim, o algoritmo de estimação não é aumentado e apesar disso a estimação dos dados do alvo é otimizada.

A vantagem dos aperfeiçoamentos do processo de acordo com a invenção, conforme as reivindicações 5, 6 e 7 consiste no facto de, no caso de eliminação de uma das linhas espectrais, não ser necessário calcular uma nova frequência de recepção, visto que todas as frequências são transformadas numa frequência espectral virtual comum de uma linha espectral artificial e estes valores de frequência transformados ou o seu valor médio constituem valores de medição da frequência de recepção. Caso se utilizar uma das linhas espectrais como linha espectral artificial já não é necessário executar uma transformação de frequência, por outro lado, no caso de seu desaparecer durante um rastreio, a estimação não é interrompida. Os desvios de frequência dos valores de frequência da frequência espectral virtual, que ocorrem na transformação, são compensados por meio de cálculo da média.

Segundo o aperfeiçoamento vantajoso do processo de acordo com a invenção, conforme a reivindicação 8, estes desvios de frequência são compensados por um processo do mínimo quadrado médio, ao deslocar os valores de frequência transformados para uma frequência espectral virtual escolhida. Assim, consegue-se que todas as medições de linhas espectrais, disponíveis durante o período de tempo, sejam utilizadas, mesmo quando algumas das linhas espectrais desaparecem temporariamente e não sejam fornecidas para as linhas espectrais quaisquer medições válidas. Por meio da transformação das frequências numa frequência espectral virtual de uma linha espectral artificial é possível uma determinação de dados do alvo mesmo quando apenas uma única linha espectral contribui para a frequência espectral virtual.

Este processamento de sinais pode ser aplicado visto que todas as linhas espectrais de um alvo sofreram percentualmente o mesmo desvio *Doppler*. Por meio da transformação das linhas espectrais individuais numa mesma linha espectral artificial, com uma frequência espectral virtual, todas as irregularidades da medição de frequência, que surgem durante o rastreo, são compensadas.

Para estimação da frequência *Doppler* determina-se de acordo com o aperfeiçoamento vantajoso do processo de acordo com a invenção, conforme a reivindicação 9, uma função quociente a partir de componentes x-y estimadas da posição do alvo assumida. Estas componentes x-y com erros são determinadas a partir de uma posição inicial do alvo mais um termo de trajecto dependente da velocidade com erros de componentes de velocidade e erros de componentes de trajecto. A posição inicial do alvo é estabelecida tendo em conta por exemplo o alcance da estação de recepção sonora, sob o ângulo de orientação medido. As componentes x-y assim estimadas são diferenciadas segundo o tempo. Além disso forma-se a soma das componentes x-y estimadas.

O produto da componente x multiplicada pela sua derivada temporal, mais o produto da componente y multiplicada pela sua derivada, é dividido pela soma das componentes x-y multiplicada pela velocidade do som e forma uma função quociente que é igual ao desvio *Doppler* da frequência de emissão estimada de uma onda sonora irradiada pelo alvo. A frequência de emissão estimada apresenta um erro de frequência de emissão. A frequência *Doppler* estimada é determinada a partir da diferença da frequência de emissão estimada, com o erro de frequência de emissão, descontando o seu produto com a função quociente. A vantagem da estimação do alvo de acordo com a reivindicação 9 consiste em

basear-se na posição do alvo estimada a partir de possíveis componentes de velocidade aquando da minimização do diferencial de frequências entre a frequência de recepção e a frequência *Doppler* estimada. Estas componentes de velocidade correspondem, tendo em conta a orientação do alvo, a uma componente de velocidade radial, que por seu lado provoca o desvio *Doppler* da frequência de emissão do alvo. Por meio da determinação e incorporação da frequência de recepção, verificam-se as três vantagens decisivas, nomeadamente as possibilidades de determinar uma primeira posição do alvo sem manobras próprias, separar e determinar vários alvos e os seus dados do alvo sob a mesma orientação bem como encurtar os tempos de convergência para as estimações da posição do alvo.

Os erros de componentes de trajecto e os erros de componentes de velocidade bem como o erro de frequência de emissão formam um vector de erro. Segundo o aperfeiçoamento vantajoso do processo de acordo com a invenção, conforme a reivindicação 10, a frequência *Doppler* estimada é desenvolvida numa série de *Taylor* segundo este vector de erro, cujo primeiro termo é igual à frequência de recepção medida e cujo segundo termo é igual ao produto do vector de erro e coeficientes de frequência. Todos os outros termos de ordem superior são desprezavelmente baixos. Os coeficientes de frequência são determinados por meio de diferenciação parcial da função quociente de acordo com o vector de erro. Por meio deste desenvolvimento em série de *Taylor* obtém-se um modelo de estimação linear, que indica o desvio de frequência entre a frequência de recepção medida e a frequência *Doppler* estimada, em função dos erros da posição própria, dos erros de componentes de trajecto e de velocidade das coordenadas x-y do alvo e dos erros de frequência de emissão. Este modelo de estimação linear

pode ser representado por escrito em matrizes.

De acordo com o aperfeiçoamento vantajoso do processo de acordo com a invenção, conforme a reivindicação 11, é determinada a estimação do ângulo de orientação a partir das componentes x-y estimadas do alvo somando-se partindo da posição inicial, a cada componente x-y o erro de trajecto e o termo de trajecto dependente da velocidade com erros de componentes de velocidade. A partir das componentes x-y estimadas determina-se o arco tangente do ângulo de orientação estimado por meio de operação trigonométrica. Através de um desenvolvimento em série de *Taylor* desta função arco tangente estabelece-se uma associação linear entre o desvio entre o ângulo de orientação medido e o ângulo de orientação estimado, e os erros de componentes de trajecto e de velocidade. Os coeficientes parciais para o desenvolvimento em série são determinados por meio de diferenciação parcial desta função trigonométrica segundo os erros de trajecto e erros de componentes de velocidade. O desenvolvimento em série é interrompido após o primeiro termo e fornece uma matriz de coeficientes parciais, cujos coeficientes parciais são determinados por meio de um filtro adaptável, tal como descrito por exemplo no documento DE 3446658 C2. Por meio de multiplicação com um vector de erro, que neste caso consiste nos erros de trajecto e de componentes de velocidade, obtém-se o desvio procurado do ângulo de orientação medido em relação ao ângulo de orientação estimado.

A vantagem do aperfeiçoamento do processo de acordo com a invenção, conforme a reivindicação 11, consiste no facto de o vector de erro considerado neste caso ser igual ao da estimação da frequência *Doppler*, só que neste caso não se tem em conta o erro de frequência de emissão. O diferencial de frequências e o

diferencial de ângulos de orientação, determinados por meio dos desenvolvimentos em série de *Taylor*, são somados e o mínimo da soma é determinado iterativamente o que fornece os dados do alvo.

A vantagem do processo de acordo com a invenção, conforme a reivindicação 12 consiste em evitar erros sistemáticos de orientação na determinação dos dados do alvo por meio de uma formação de valor médio dos ângulos de orientação medidos e estimados. Estes erros sistemáticos de orientação ocorrem, por exemplo, quando o veículo de transporte e o alvo não se encontram no mesmo plano de orientação, *p. ex.* no plano horizontal, e as ondas sonoras incidentes apresentam, em contrapartida, um ângulo, *p. ex.* um ângulo de elevação. Com a estação de recepção sonora mede-se então a direcção da incidência sonora que corresponde à projecção da direcção de incidência espacial sobre o plano de orientação. Este erro sistemático de orientação encontra-se também nos ângulos de orientação estimados. Ao formar respectivamente o valor médio de ângulos de orientação e o valor médio de ângulos estimados e ao os subtrair dos respectivos ângulos de orientação medidos e estimados, subtrai-se também este erro sistemático de orientação de cada ângulo de orientação medido e estimado de forma que na busca do mínimo dos desvios quadráticos o erro sistemático de orientação quase que já não participa.

A especial vantagem do processo de acordo com a invenção, conforme a reivindicação 12 reside em ser indiferente se este erro sistemático de orientação é provocado por um ângulo de elevação ou por exemplo por erro de bússola ou erro de medição de um dispositivo de navegação a bordo do veículo de transporte para determinação da posição própria. Além disso, é vantajoso

que na determinação dos dados do alvo, também não são considerados erros sistemáticos de orientação devido à expansão multicanal das ondas sonoras desde o alvo, por causa de reflexões na superfície e/ou no fundo marítimo ou em camadas de água. Posições inclinadas desconhecidas do sistema transdutor da estação de recepção sonora devido a correntes de água, também não conduzem a uma determinação errónea dos dados do alvo, apesar de falsearem a determinação da posição própria e provocarem erros sistemáticos de orientação na determinação do ângulo de orientação. Esta determinação melhorada da posição do alvo é também garantida quando não ocorre constantemente um erro sistemático de orientação. Na determinação da matriz de coeficientes baseia-se agora numa função arco tangente e no valor médio da função arco tangente, em que cada coeficiente consiste no coeficiente parcial e no seu valor médio. Por meio de multiplicação com o vector de erro obtém-se o desvio procurado do diferencial a partir do ângulo de orientação medido descontando o seu valor médio de ângulo de orientação e do ângulo de orientação estimado descontando o seu valor médio de ângulo estimado, que já não apresenta qualquer erro sistemático.

Por meio da formação do valor médio dos coeficientes parciais e da formação do diferencial em relação aos coeficientes parciais actuais elimina-se um erro sistemático na determinação do ângulo de orientação.

A invenção é descrita mais pormenorizadamente por meio do desenho com base num exemplo de realização para um processo para a determinação passiva de dados do alvo com uma estação de recepção sonora. Mostram:

- Fig. 1 um cenário para a determinação de dados do alvo,
- Fig. 2 um sistema de coordenadas x-y com dados do alvo,
- Fig. 3 um diagrama de frequências,
- Fig. 4 gráficos de erro para uma determinação de dados do alvo sem manobrar,
- Fig. 5 gráficos de erro para uma determinação de dados do alvo no caso da existência de um erro sistemático de orientação,
- Fig. 6 um diagrama em bloco,
- Fig. 7 evolução temporal de uma frequência de recepção medida no mar,
- Fig. 8 a - d gráficos de dados do alvo com base em dados da medição com uma antena de arrasto,
- Fig. 9 e Fig. 10 frequências de linhas espectrais medidas e de uma linha espectral artificial ao longo do tempo,
- Fig. 11 gráficos de dados do alvo com base em dados da medição de uma antena de arrasto com manobras próprias.

A fig. 1 mostra um cenário para a determinação passiva de dados do alvo. Com um sistema transdutor electrónico, *p. ex.* uma antena linear ou uma antena de arrasto, de uma estação de recepção sonora a bordo de um veículo de transporte, captam-se ruídos emitidos por dois alvos a partir da mesma direcção de incidência e medem-se ângulos de orientação B_i . Um dos alvos encontra-se numa rota 1, o segundo alvo encontra-se numa rota 2 que estão representadas num sistema de coordenadas x-y. No tempo t_0 encontra-se o veículo de transporte na origem 0/0 e os alvos sob um ângulo de orientação na direcção do eixo y, que indica simultaneamente o Norte No como direcção de referência. No tempo t_1 , o veículo de transporte encontra-se na sua rota 3, com velocidade própria constante, um alvo na sua rota 1 com uma velocidade v_1 e o outro alvo na sua rota 2 com a velocidade v_2 , deslocam-se para as posições do alvo seguintes. O ângulo de orientação medido B_{1med} é igual em relação às duas posições do alvo e é utilizado para uma primeira estimacção dos dados do alvo x_{est} , y_{est} .

A fig. 2 mostra o sistema de coordenadas x-y da fig. 1 para um tempo t . O veículo de transporte com o sistema transdutor encontra-se na posição própria x_E , y_E que constitui ao mesmo tempo a origem do sistema de coordenadas x-y. Neste momento encontra-se o alvo na posição P_{verd} . Deixou a sua posição inicial P_0 , nas coordenadas x_{0verd} , y_{0verd} com a velocidade v_{xverd} , v_{yverd} e percorreu as componentes de trajecto $v_{xverd} \cdot \Delta t$ e $v_{yverd} \cdot \Delta t$. A nova posição verdadeira P_{verd} do alvo conduz à medição de um ângulo de orientação B_{med} . A nova posição P_{verd} é determinada por meio de uma posição estimada P_{est} e de cálculo do ângulo de orientação estimado B_{est} , correspondente, de forma iterativa através de minimizar o desvio entre B_{med} e B_{est} .

Assume-se que o alvo se desloca da coordenada $X_{0\text{verd}}$ com um erro de trajecto Δx_0 para a coordenada $R_{x\text{est}}$ na direcção do x com uma velocidade v_x e um erro de componentes de velocidade Δv_x num intervalo de tempo Δt . Na direcção do y, o alvo deslocou-se durante o intervalo de tempo Δt da coordenada $y_{0\text{verd}}$ para a coordenada $R_{y\text{est}}$ com um erro de trajecto Δy_0 e com uma velocidade $v_{y\text{est}}$ com um erro de componentes de velocidade Δv_y . As coordenadas do alvo são estimadas em:

$$R_{x\text{est}} = X_{0\text{verd}} + V_x \cdot \Delta t + (\Delta x_0 + \Delta v_x \cdot \Delta t) = R_{x\text{verd}} + \Delta R_x \quad (\text{A})$$

$$R_{y\text{est}} = Y_{0\text{verd}} + V_y \cdot \Delta t + (\Delta y_0 + \Delta v_y \cdot \Delta t) = R_{y\text{verd}} + \Delta R_y \quad (\text{B})$$

com os erros ΔR_x , ΔR_y . Após conversão obtém-se

$$R_{x\text{verd}} = R_{x\text{est}} - \Delta R_x = R_{x\text{est}} - (\Delta x_0 + \Delta v_x \cdot \Delta t) \quad (\text{a})$$

$$R_{y\text{verd}} = R_{y\text{est}} - \Delta R_y = R_{y\text{est}} - (\Delta y_0 + \Delta v_y \cdot \Delta t) \quad (\text{b})$$

Daqui calcula-se o ângulo de orientação estimado B_{est} :

$$B_{\text{est}} = \arctan \frac{R_{x\text{est}} - \Delta R_x}{R_{y\text{est}} - \Delta R_y} \quad \text{I}$$

A verdadeira posição P_{verd} é determinada quando os erros $\Delta R_x = \Delta x_0 + \Delta v_x \cdot \Delta t$ e $\Delta R_y = \Delta y_0 + \Delta v_y \cdot \Delta t$ são iguais a zero. Então, as componentes de velocidade v_x e v_y são correctamente estimadas, as quais conduziram à ocupação da nova verdadeira posição P_{verd} pelo alvo. O ângulo de orientação estimado B_{est} correspondente é igual ao ângulo de orientação verdadeiro B_{verd} e perfaz:

$$B_{\text{est}} = B_{\text{verd}} = \arctan \frac{X_{0\text{verd}} + V_{x\text{verd}} \cdot \Delta t - X_E}{Y_{0\text{verd}} + V_{y\text{verd}} \cdot \Delta t - Y_E} = B_{\text{med}}$$

Os dados do alvo $P = (x_0, y_0, v_x, v_y)$ são correctamente estimados quando o vector de erro é igual a zero:

$$\Delta P = (\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y) = 0 \text{ com}$$

$$\Delta p_1 = \Delta x_0, \Delta p_2 = \Delta y_0, \Delta p_3 = \Delta v_x \text{ e } \Delta p_4 = \Delta v_y.$$

Para a determinação de dados do alvo minimiza-se o diferencial de ângulos de orientação entre os ângulos de orientação estimado e medido:

$$(B_{\text{iest}} - B_{\text{imed}}) = \min$$

A posição do alvo P_{verd} é determinada até um erro residual, que é definido por meio (de um limite que determina o mínimo. Então é

$$B_{\text{iest}} \approx B_{\text{iverd}}$$

A inclusão de uma frequência *Doppler* estimada torna possível uma estimação da posição sem manobras próprias, por meio de uma minimização simultânea de um diferencial de frequências entre frequência de recepção medida e frequência *Doppler* estimada, tendo em consideração a estimação do ângulo de orientação de acordo com I.

O alvo deixou a posição inicial P_0 com a velocidade $v = v_1$ de acordo com a fig. 2. Uma vez conhecido o verdadeiro ângulo de orientação B_{verd} são convertidas as componentes de velocidade v_x e

v_y do alvo numa componente de velocidade radial V_R , que aponta na direcção entre a posição própria x_E, y_E e a verdadeira posição do alvo P_{verd} .

$$V_R = V_R' + V_R'' = V_y \cdot \cos B_{verd} + V_x \sin B_{verd} \quad (c)$$

Esta componente de velocidade radial V_R , tem em conta as componentes de velocidade radial V_{R2} do alvo e do veículo de transporte V_{RE} que são correctamente adicionadas no que diz respeito aos sinais algébricos.

$$V_R = V_{RE} - V_{R2} \quad (d)$$

Devido à componente de velocidade radial V_R , uma frequência de emissão F_{sverd} contida e emitida no sinal de emissão ou no ruído do alvo, sofre um desvio de frequência e uma frequência de emissão com efeito *Doppler* é recebida como frequência de recepção F_{verd} , tal como o descrito no capítulo 7.4 de "Der Dopplereffekt", página 334, 335 no manual "Experimentalphysik I", 2ª parte, Edgar Lüscher, Hochschultaschenbuch, Bibliographisches Institut, Mannheim. 1967, sendo válida para a frequência *Doppler*:

$$F_{verd} = F_{sverd} \left[\frac{C + V_{RE}}{C + V_{R2}} \right]$$

Por meio de um desenvolvimento em série obtém-se, após introdução da equação (d) para a frequência de recepção, que é igual à frequência de emissão verdadeira com efeito *Doppler*:

$$F_{\text{verd}} = F_{\text{sverd}} \left[1 - \frac{V_R}{c} \right] \quad (\text{XX})$$

A frequência de recepção depende de uma função quociente que é proporcional à componente de velocidade radial V_R :

$$Q = \frac{V_R}{c} \quad (\text{XXI})$$

A componente de velocidade radial V_R , de acordo com a equação (c), depende das componentes de velocidade v_x e v_y na direcção do x e do y e do ângulo de orientação B_{verd} :

$$V_R = V_R' + V_R'' = V_y \cdot \cos B_{\text{verd}} + V_x \sin B_{\text{verd}} \quad (\text{c})$$

As componentes de velocidade v_x e v_y são iguais à alteração temporal das coordenadas x-y do alvo:

$$V_x = \frac{d_{R_{x\text{verd}}}}{dt} = R_{x\text{verd}}$$

$$V_y = \frac{d_{R_{y\text{verd}}}}{dt} = R_{y\text{verd}}$$

Com as equações (a) e (b) obtém-se:

$$v_x = \dot{R}_{x\text{verd}} = \dot{R}_{x\text{est}} - \Delta\dot{R}_x \quad (e)$$

$$v_y = \dot{R}_{y\text{verd}} = \dot{R}_{y\text{est}} - \Delta\dot{R}_y \quad (f)$$

Com inclusão do ângulo de orientação verdadeiro B_{verd} entre a direcção de referência N_0 e a direcção para a verdadeira posição do alvo P_{verd}

$$\sin B_{\text{verd}} = \frac{R_{x\text{verd}}}{R_{\text{verd}}} \quad (g)$$

$$\cos B_{\text{verd}} = \frac{R_{y\text{verd}}}{R_{\text{verd}}} \quad (h)$$

obtém-se com as equações (a) e (b) para a verdadeira distância R_{verd} em relação ao alvo

$$R_{\text{verd}} = \sqrt{R_{x\text{verd}}^2 + R_{y\text{verd}}^2}$$

$$R_{\text{verd}} = \sqrt{(R_{x\text{est}} - \Delta R_x)^2 + (R_{y\text{est}} - \Delta R_y)^2} \quad (i)$$

sendo neste caso

$$\Delta R_x = \Delta x_0 + \Delta v_x \cdot \Delta t$$

$$\Delta R_y = \Delta y_0 + \Delta v_y \cdot \Delta t.$$

Na equação (c) para a componente de velocidade radial V_r introduzem-se agora as equações (e), (f), (g), (h) e (i) e para o desvio *Doppler* obtém-se a função quociente

$$Q = \frac{V_R}{c} \quad (XXI)$$

em função do vector de erro $\Delta P = (\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y)$

$$Q(\Delta P) = \frac{1}{c} \frac{(\dot{R}_{xest} - \Delta \dot{R}_x)(R_{xest} - \Delta R_x) + (\dot{R}_{yest} - \Delta \dot{R}_y)(R_{yest} - \Delta R_y)}{\sqrt{(R_{xest} - \Delta R_x)^2 + (R_{yest} - \Delta R_y)^2}} \quad (XXII)$$

A frequência de emissão F_s , que é emitida pelo alvo, é estimada com um erro ΔF_s

$$F_{sest} = F_{sverd} + \Delta F_s$$

$$F_{sverd} = F_{sest} - \Delta F_s$$

e em conjunto com a função quociente Q , de acordo com a equação XXII é introduzida na equação XX para a frequência de recepção, que é igual à verdadeira frequência *Doppler* F_{verd} .

$$\bar{F}_{verd} = (\bar{F}_{sest} - \Delta \bar{F}_s) \left[1 - Q(\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y) \right] \quad (XXIII)$$

A frequência *Doppler* F_{verd} é estimada com um diferencial de erro ΔF como erro.

$$F_{verd} = F_{est} - \Delta F$$

e é introduzida na equação XXIII. Para cada medição i de ângulos

de orientação a frequência *Doppler* tem de ser determinada a partir da posição estimada:

$$\bar{F}_{iest} - \Delta F_i = G_i(\Delta P) = (\bar{F}_{sest} - \Delta F_s) \left[1 - Q(\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y) \right] \quad (XXIV)$$

O vector de erro ΔP é para expandir por um outro termo de erro ΔF_s , para a estimação da frequência de emissão F_{sest}

$$\Delta P_1 = (\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y, \Delta F_s) \quad (XXV)$$

Em torno deste vector de erro ΔP desenvolve-se, para estimar a frequência *Doppler*, a equação de estimação XXIV numa série de *Taylor* e interrompe-se após o segundo termo:

$$G_i(\Delta P) = G_i(\Delta P) \Big|_{\Delta P=0} + \sum_{l=1}^5 \left[\frac{\partial G_i}{\partial \Delta P_l} \Big|_{\Delta P=0} \right] \cdot \Delta P_l \quad (XXVI)$$

Neste caso, a frequência *Doppler* estimada F_{iest} é igual à frequência de recepção medida F_{imed} para $\Delta P=0$:

$$G_i(\Delta P) \Big|_{\Delta P=0} = F_{iest} \Big|_{\Delta P=0} = F_{imed} \quad (XXVII)$$

A equação XXVII é introduzida na equação XXVI e obtém-se para a frequência *Doppler* estimada:

$$F_{iest} = G_i(\Delta P) = F_{imed} + \sum_{l=1}^5 \left[\frac{\partial G_i}{\partial \Delta P_l} \Big|_{\Delta P=0} \right] \cdot \Delta P_l$$

uma soma que é igual à frequência de recepção medida F_{imed} mais o diferencial de frequências ΔF_i .

$$G_i(\Delta P) = F_{imed} + \Delta F_i = F_{iest}$$

$$\Delta F_i = F_{imed} - F_{iest}.$$

Para determinar a frequência *Doppler* é necessário minimizar o diferencial de frequências ΔF_i :

$$\Delta F_i = \sum_{l=1}^5 \left[\frac{\partial G_i}{\partial \Delta P_l} \Big|_{\Delta P=0} \right] \cdot \Delta P_l \quad (\text{XXVIII})$$

$$\Delta F_i \approx \sum_{l=1}^5 g_{il} \cdot \Delta P_l \approx F_{imed} - F_{iest} \quad (\text{IXXX})$$

Por meio de diferenciação parcial da equação de estimação XXIV, em que é introduzida a função quociente $Q(\Delta P)$ correspondente à equação XXII, segundo o vector de erro ΔP_i de acordo com a equação XXV, obtêm-se para os coeficientes de frequência g_{il} as seguintes relações:

$$g_{i1} = \frac{F_{sest}}{C \cdot R_{iest}} \left[\dot{R}_{iest} - \frac{R_{iest} \cdot (R_{iest} \cdot \dot{R}_{iest} + R_{yiest} \cdot \dot{R}_{yiest})}{x \cdot R_{iest}^2} \right] \quad XXXI$$

$$g_{i2} = \frac{F_{sest}}{C \cdot R_{iest}} \left[\dot{R}_{yiest} - \frac{R_{yiest} \cdot (R_{iest} \cdot \dot{R}_{iest} + R_{yiest} \cdot \dot{R}_{yiest})}{x \cdot R_{iest}^2} \right] \quad XXXII$$

$$g_{i3} = \frac{F_{sest}}{C \cdot R_{iest}} R_{iest} + g_{i1} \cdot \Delta t_i \quad XXXIII$$

$$g_{i4} = \frac{F_{sest}}{C \cdot R_{iest}} R_{yiest} + g_{i2} \cdot \Delta t_i \quad XXXIV$$

$$g_{i5} = \frac{R_{iest} \cdot \dot{R}_{iest} + R_{yiest} \cdot \dot{R}_{yiest}}{C \cdot R_{iest}} - 1 \quad XXXV$$

Todos os coeficientes g_{i1} de frequência são multiplicados, de acordo com a equação IXXX, pelo respectivo erro do vector de erro ΔP_1 e o diferencial de frequências é minimizado iterativamente, de acordo com a equação I, por meio de estimação das componentes x-y da posição do alvo, em conjunto com o diferencial de ângulos de orientação de acordo com a equação I.

O ângulo de orientação estimado de acordo com a equação I

$$B_{iest} = \arctan \frac{R_{iest} - \Delta R_{xi}}{R_{yiest} - \Delta R_{yi}} \quad IV$$

é igualmente desenvolvido numa série de *Taylor* em torno do vector de erro $\Delta P_1 = (\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y)$, que não contém de certeza o erro de frequência ΔF_s , mas que de resto é igual ao vector de erro indicado na equação XXV e após o segundo termo

interrompe-se:

$$B_{iest}(\Delta P) = B_{iest} \big|_{\Delta P=0} + \sum_{i=1}^4 \frac{\partial B_{iest}}{\partial \Delta P_i} \big|_{\Delta P=0} \cdot \Delta P_i$$

Com

$$\frac{\partial B_{iest}}{\partial \Delta P_i} \big|_{\Delta P=0} = h_{i1}$$

como coeficientes parciais obtém-se:

$$B_{iest}(\Delta P) - B_{iest} \big|_{\Delta P=0} = \sum_{i=1}^4 h_{i1} \cdot \Delta P_i, \quad V$$

sendo neste caso, o ângulo de orientação estimado B_{iest} igual ao ângulo de orientação medido B_{imed} quando o vector de erro ΔP é igual a zero.

$$B_{iest} \big|_{\Delta P=0} = B_{imed} \quad VI$$

Os coeficientes h_{i1} parciais na equação V são determinados por meio de diferenciação parcial do ângulo de orientação estimado B_{iest} , de acordo com IV, segundo os erros de trajecto e os erros de componentes de velocidade do vector de erro $\Delta P = (\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y)$:

$$h_{i1} = \left. \frac{\partial B_{iest}}{\partial \Delta x_0} \right|_{\Delta P=0} = \frac{\partial}{\partial x_0} \left[\arctan \frac{R_{xiest} - \Delta R_{xi}}{R_{yiest} - \Delta R_{yi}} \right]$$

$$h_{i1} = \frac{-R_{yiest}}{(R_{xiest})^2 + (R_{yiest})^2} \quad (1)$$

A diferenciação segundo $\Delta P_2 = \Delta y_0$ resulta nos coeficientes parciais:

$$h_{i1} = \left. \frac{\partial B_{iest}}{\partial \Delta y_0} \right|_{\Delta P=0} = \frac{R_{xiest}}{(R_{xiest})^2 + (R_{yiest})^2} \quad (2)$$

Os coeficientes h_{i3} e h_{i4} são obtidos por meio de diferenciação parcial segundo os erros de componentes de velocidade $\Delta v_x = \Delta P_3$, $\Delta v_y = \Delta P_4$ e introdução de (1) e (2)

$$h_{i3} = \left. \frac{\partial B_{iest}}{\partial \Delta v_x} \right|_{\Delta P=0} = \Delta t_i \cdot h_{i1} \quad (3)$$

$$h_{i4} = \left. \frac{\partial B_{iest}}{\partial \Delta v_y} \right|_{\Delta P=0} = \Delta t_i \cdot h_{i2} \quad (4)$$

Os coeficientes h_{i3} e h_{i4} parciais são iguais ao produto do intervalo de tempo Δt_i e dos coeficientes h_{i1} e h_{i2} parciais determinados anteriormente.

Por meio da introdução de (1), (2), (3), (4) na equação V obtém-se o diferencial de ângulos de orientação D e o seu quadrado δ :

$$\delta = \left[B_{iest} - B_{imed} \right]^2 = \sum_{i=1}^4 \left[h_{i1} \cdot \Delta P_1 \right]^2 \quad \text{VII}$$

A equação de estimação para os dados do alvo é formada com as equações VII e IXXX.

Com cada medição e estimação i do ângulo de orientação B_{imed} , B_{iest} e medição da frequência de recepção F_{imed} e estimação da frequência *Doppler* F_{iest} determina-se iterativamente o mínimo através de I_k medições e estimações:

$$\sum_{i=1}^{I_k} (B_{imed} - B_{iest})^2 + (F_{imed} - F_{iest})^2 = \min$$

$$\sum_{i=1}^{I_k} \left[\sum_{j=1}^4 [h_{ij} \cdot \Delta P_j]^2 + \sum_{j=1}^5 [g_{ij} \cdot \Delta P_j]^2 \right] = \min \quad \text{XXX}$$

Os dados do alvo estimados em que se baseia o mínimo indicam a posição, velocidade e rota do alvo com o vector de dados do alvo $P = (x, y, v_x, v_y, F)$.

A fig. 3 mostra um diagrama de frequências com frequências de recepção F_{Z1} , F_{Z2} , F_{Z3} , F_{Z4} ao longo do tempo t de quatro alvos que emitem todos a mesma frequência de emissão $F_s = 1000$ Hz. Cada frequência de recepção F_{Z1} , F_{Z2} , F_{Z3} , F_{Z4} compõe-se, devido à componente de velocidade radial V_R relativa do veículo de transporte e do alvo, por uma fracção do alvo e uma fracção própria. O desvio de frequência durante a aproximação e o afastamento do alvo depende, a uma velocidade constante de cada alvo, do ângulo de orientação medido B_{imed} . No local, onde as frequências de recepção F_{ZE1} , F_{ZE2} , F_{Z3} , F_{Z4} são iguais à frequência

de emissão $F_s = 1000$ Hz, a componente de velocidade radial é igual a zero e é atingido o ponto mais próximo de aproximação CPA. Para o primeiro alvo Z_1 o desvio *Doppler* da frequência de emissão F_s e portanto o desvio de frequência da frequência de recepção F_{Z1} de 3 Hz e o tempo de passagem do CPA de 7 min são os menores. Para o quarto alvo, o desvio *Doppler* e o desvio de frequência da frequência de recepção F_{Z4} são os maiores, visto que o quarto alvo se aproxima do sistema transdutor receptor numa rota de colisão. O desvio de frequência corresponde à função quociente Q de acordo com as equações XXI e XXII ou à componente de velocidade radial V_R relativa entre o alvo e o veículo de transporte.

A equação de estimação XXX baseia-se em cada intervalo de tempo Δt , em ângulos de orientação medidos B_{imed} e frequências de recepção F_{imed} e a partir destes determinam-se iterativamente a orientação, distância, velocidade e rota do alvo como dados do alvo.

A fig. 4 indica gráficos de erro para uma determinação dos dados do alvo, em que ao início do percurso a distância em relação ao alvo é de 20 km, a orientação em relação ao alvo é de $B_0 = 0^\circ$ em relação ao norte N_0 , a velocidade é de $11,3$ m/s = 22 kts, a rota do alvo é de 155° , a rota do próprio veículo de transporte é de 25° e a sua velocidade é de 6 kts.

A fig. 4a mostra que os erros de orientação durante a totalidade do percurso se situam dentro de um intervalo de erro de $\pm 0,5^\circ$. O erro de distância relativo $\Delta R/\%$ ao longo do tempo é indicado na fig. 4b. A estimação da distância R converge após 15 min e apresenta, com uma média calculada com 20 aplicações do método de Monte-Carlo, após 20 min uma dispersão inferior a $\pm 10\%$, sem que se tenha realizado uma manobra. O erro de

velocidade está indicado na fig. 4c, situando-se, após 17,5 min a uma velocidade do alvo de 11,3 m/s num intervalo de erro de ± 1 m/s. A rota fica logo determinada de modo estável após 10 min e situa-se num intervalo de erro de $K = \pm 10^\circ$, tal como se mostra na fig. 4d.

Um falseamento da medição do ângulo de orientação B_{imed} devido a um erro sistemático de orientação ϑ é eliminado por meio da inclusão de uma formação de valor médio dos ângulos de orientação medidos e estimados, durante a deslocação do veículo de transporte com rota constante e velocidade constante ao longo de um denominado rumo próprio. Este erro sistemático de orientação ϑ ocorre, por exemplo, quando a direcção de referência No' , p. ex. devido à determinação errónea da posição do sistema transdutor, não aponta com precisão para o norte No , tal como se mostra na fig. 2. O erro sistemático de orientação ϑ pode ser provocado por meio de erros no mostrador da bússola, por meio de incidência sonora num ângulo de inclinação em relação ao plano de orientação ou por meio da utilização de uma antena de arrasto, devido a correntes de água ou influências de correntes da hélice do veículo de transporte que arrasta. O ângulo de orientação B_{imed} é agora medido contra o Norte No' , errado e é demasiado grande no erro de orientação ϑ .

Para eliminar o valor de orientação sistemático ϑ forma-se um valor médio de ângulos de orientação por meio de I_K medições de ângulos de orientação B_{imed} que são efectuadas com o intervalo de tempo Δt_i

$$\overline{B_{imed}}^k = \frac{1}{I_k} \sum_{i=1}^{I_k} B_{imed}$$

e forma-se um valor médio de ângulos estimados do ângulo de orientação estimado B_{iest} de acordo com a equação I:

$$\overline{B_{est}}^k = \frac{1}{l_k} \sum_{i=1}^{l_k} \arctan \frac{R_{xiest} - \Delta R_{xi}}{R_{yiest} - \Delta R_{yi}} = \overline{\arctan \frac{R_{xest} - \Delta R_x}{R_{yest} - \Delta R_y}}^k$$

II

Em seguida forma-se, como valor diferencial de estimação, a diferença entre o ângulo de orientação estimado B_{iest} actual, de acordo com a equação I e o valor médio de ângulos estimados $\overline{B_{est}}^k$ de acordo com a equação II por cada rumo próprio k:

$$F_i^k = B_{iest} - \overline{B_{est}}^k \quad \text{III}$$

$$F_i^k = \arctan \frac{R_{xiest} - \Delta R_{xi}}{R_{yiest} - \Delta R_{yi}} - \overline{\arctan \frac{R_{xest} - \Delta R_x}{R_{yest} - \Delta R_y}}^k \quad \text{IV}$$

O valor diferencial de estimação F_i^k é desenvolvido numa série de Taylor em torno do vector de erro $\Delta P_1 = (\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y)$ e é interrompido após o segundo termo:

$$F_i^k(\Delta P) = F_i^k|_{\Delta P=0} + \sum_{j=1}^4 \frac{\partial F_i^k}{\partial \Delta P_j} \Big|_{\Delta P=0} \cdot \Delta P_j$$

Com

$$\frac{\partial F_i^k}{\partial \Delta P_1} \Big|_{\Delta P=0} = \gamma_{i1}^k$$

como coeficiente obtém-se:

$$F_i^k(\Delta P) - F_i^k|_{\Delta P=0} \cong \sum_{i=1}^4 \gamma_{i1} \cdot \Delta P_1,$$

sendo neste caso

$$F_i^k|_{\Delta P=0} = B_{imed} - \overline{B}_{med}^k \quad \text{VI}$$

o valor diferencial de medição entre o ângulo de orientação realmente medido B_{imed} e o valor médio de ângulos de orientação de todos os ângulos de orientação B_{med} medidos num rumo próprio k . Os coeficientes γ_{i1}^k na equação V são determinados por meio de diferenciação parcial do valor diferencial de estimação F_i , de acordo com IV, segundo os erros de trajecto e os erros de componentes de velocidade do vector de erro $\Delta P = (\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y)$. Os coeficientes γ_{i1}^k são constituídos pelos coeficientes h_{i1}^k parciais e pelo correspondente valor médio $\overline{h_1}^k$. Os coeficientes h_{i1} parciais foram derivados nas equações (1), (2), (3), (4). Os coeficientes são:

$$\gamma_{i1}^k = h_{i1}^k - \overline{h_1^k} \quad (5)$$

$$\gamma_{i2}^k = h_{i2}^k - \overline{h_2^k} \quad (6)$$

$$\gamma_{i3}^k = \Delta t_1 \left[h_{i1}^k - \overline{h_1^k} \right] \quad (7)$$

$$\gamma_{i4}^k = \Delta t_1 \left[h_{i2}^k - \overline{h_2^k} \right] \quad (8)$$

Por meio da introdução dos coeficientes γ_{i1} na equação V obtém-se a diferença do valor diferencial de estimação F_i^k de acordo com III e do valor diferencial de medição $F_i^k|_{\Delta P=0}$ de acordo com VI como diferencial de ângulos de orientação:

$$\begin{aligned} D_1 &= \left\{ \left[B_{iest} - \overline{B_{est}^k} \right] - \left[B_{imed} - \overline{B_{med}^k} \right] \right\}^2 = \\ &= \sum_{i=1}^4 \left\{ \left[h_{i1}^k - \overline{h_1^k} \right] \cdot \Delta P_1 \right\}^2 \end{aligned} \quad \text{VIII}$$

O diferencial de ângulos de orientação de acordo com a equação VIII e o diferencial de frequências de acordo com a equação IXXX estão na base da determinação dos dados do alvo e são eliminados iterativamente por meio de I_k medições e estimações:

$$\begin{aligned}
& \sum_{i=1}^k \left\{ \left[B_{imed}^k - \overline{B}_{imed}^k \right] - \left[B_{iest}^k - \overline{B}_{iest}^k \right] \right\}^2 + \left[F_{imed}^k - F_{iest}^k \right]^2 \Bigg\} = \\
& = \sum_{i=1}^k \sum_{l=1}^4 \left\{ \left[h_{il}^k - \overline{h}_l^k \right] \cdot \Delta P_l \right\}^2 + \sum_{l=1}^5 \left[g_{il} \cdot \Delta P \right]^2 \Bigg\} = \min
\end{aligned}
\tag{XL}$$

A fig. 5 mostra gráficos de erro numa estimação dos dados do alvo de acordo com a equação VIII, em que o veículo de transporte teve que efectuar manobras próprias, visto que não foram utilizadas medições de frequência e estimações para a análise de dados do alvo.

A fig. 5a mostra, ao longo do tempo t, o erro sistemático de orientação ϑ . Durante o percurso de um primeiro rumo próprio perfaz aproximadamente $1,2^\circ$. A primeira manobra M1 própria caracteriza-se por o erro de orientação saltar de $-1,2^\circ$ para $+1,2^\circ$ após conclusão da manobra e de ter percorrido o segundo rumo próprio. Na manobra M2 própria seguinte, após 8 min, salta o erro de orientação para cerca de $-1,2^\circ$ e mantém-se inalterado durante as medições ao longo do rumo próprio seguinte. As manobras M1, M2, ... M5 próprias são indicadas cada uma por meio de linhas verticais na parte de cima do gráfico de erros e são numeradas.

Passados 15 min e três manobras próprias, o erro de distância $\Delta R/\%$ de acordo com a fig. 5b, o erro de velocidade $\Delta v/m/s$ de acordo com a fig. 5c e erro de rota K de acordo com a fig. 5d estão dentro de um intervalo de erro habitual.

A fig. 6 mostra um diagrama em bloco de uma estação de recepção sonora para determinação de dados do alvo P com um dispositivo de filtragem adaptável para avaliação de ângulos de

orientação medidos B_{imed} e de frequências de recepção medidas F_{imed} . Os sinais de recepção de um sistema 10 transdutor são reunidos num formador 11 de feixes, por meio de compensação do tempo de propagação ou de fases, em sinais de grupos e um alvo é detectado sob um ângulo de orientação B_{imed} com um circuito 12 de medição. O circuito 12 de medição é controlado por um circuito 13 de controlo em intervalos de tempo Δt_i . A totalidade do processamento de sinais é realizada nos intervalos de tempo Δt_i . A jusante do circuito 12 de medição encontra-se um circuito 15 de estimação, que recebe como outros dados de *input*, o Norte a partir de um sistema 16 de bússola como direcção de referência N_0 , a posição própria x_E y_E do sistema 10 transdutor a partir de um sistema 17 de navegação que se encontra a bordo, uma posição inicial $P_0 = (x_0, y_0)$ do alvo a partir de um circuito 18 de estado de arranque, os componentes de velocidade v_{ix} e v_{iy} na direcção do x e do y , bem como um vector de erro $\Delta P_0 = (\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y, \Delta F_s)$ a partir de um sistema 20 de estimação. A partir destes dados de *input* estimam-se no circuito 15 de estimação, conforme as equações de estimação (A) e (B), as componentes de trajecto R_{xiest} , R_{yiest} e os erros de trajecto ΔR_{xi} , ΔR_{yi} . A partir destes valores estimados calcula-se num circuito 21 de arco tangente um ângulo de orientação estimado B_{iest} de acordo com a equação I.

Num circuito 23 de diferencial de ângulos de orientação, a jusante do circuito 15 de estimação, formam-se os coeficientes h_{i1} parciais dependentes das componentes de trajecto estimadas R_{xiest} , R_{yiest} e dos seus erros ΔR_x , ΔR_y , de acordo com as equações (1), (2), (3), (4), bem como os seus valores médios $\overline{h_1}$ para calcular a partir destes os coeficientes γ_{i1}^k de acordo com as equações (5), (6), (7), (8) e reuni-los em diferenciais de

ângulos de orientação de acordo com as equações de estimação VII e VIII:

$$\delta_i^* = \left[B_{imed} - B_{iest} \right]^2 = \sum_{l=1}^4 \left\{ h_{il} \cdot \Delta P_l \right\}^2 \quad \text{VII}$$

$$\delta_i = \sum_{k=1}^{I_k} \left\{ \left[B_{imed} - \overline{B_{imed}}^k \right] - \left[B_{iest} - \overline{B_{iest}}^k \right] \right\}^2 = \sum_{k=1}^{I_k} \sum_{l=1}^4 \left\{ \left[h_{il}^k - \overline{h_{il}}^k \right] \cdot \Delta P_l \right\}^2 = \min \quad \text{VIII}$$

Por meio de $i=I_k$ medições por rumo próprio, cujo número I_k é predefinido num circuito de controlo 60, são avaliados os ângulos de orientação medidos e estimados B_{imed} e B_{iest} . O espaço de tempo $I_k \cdot \Delta t$ indica a duração de filtragem.

Os sinais de grupos no *output* do formador 11 de feixes são analisados num circuito 24 de análise de frequência. A frequência de recepção determinada é introduzida num circuito 25 de diferencial de frequências, a jusante do circuito 15 de estimação. A partir das componentes de trajecto estimadas R_{xiest} , R_{yiest} e das suas alterações temporais R_{xiest} e R_{yiest} , bem como dos erros ΔR_{xi} , ΔR_{yi} e ΔR_{xi} e ΔR_{yi} determina-se o diferencial de frequências ΔF_i conforme a equação de estimação IXXX:

$$\Delta F_i = \sum_{l=1}^5 g_{il} \cdot \Delta P_l = F_{imed} - F_{iest} \quad \text{(IXXX)}$$

Os *outputs* do circuito 23 de diferencial de ângulos de orientação e do circuito 25 de diferencial de frequências estão

ligados a um circuito de iteração 30 onde se forma iterativamente o mínimo da soma do diferencial de ângulos de medição e do diferencial de frequências ou dos seus valores diferenciais ao quadrado conforme as equações de estimação

$$\sum_{i=1}^k \left[\sum_{l=1}^4 [h_{il} \cdot \Delta P_l]^2 + \sum_{l=1}^5 [g_{il} \cdot \Delta P_l]^2 \right] = \min \quad (\text{XXX})$$

e

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^k \left\{ \left[B_{imed} - \overline{B}_{med}^k \right] - \left[B_{iest} - \overline{B}_{est}^k \right] \right\}^2 + \left[F_{imed} - F_{iest} \right]^2 \Big\} = \\ & = \sum_{i=1}^k \sum_{l=1}^4 \left\{ \left[h_{il}^k - \overline{h}_l^k \right] \cdot \Delta P_l \right\}^2 + \sum_{l=1}^5 \left[g_{il} \cdot \Delta P \right]^2 \Big\} = \min \end{aligned}$$

(XL)

A minimização é realizada até que o vector de erro ΔP_i ultrapasse um valor limite inferior ΔP_i inferior ou igual a ΔP_{min} .

Para cada ângulo de orientação medido B_{imed} são determinados no circuito 15 de estimação componentes de trajecto R_{xest} e R_{yest} bem como erros de trajecto ΔR_x e ΔR_y até que o vector de erro ΔP_i ultrapasse um valor limite inferior $\Delta P_i \leq \Delta P_{min}$. Com excepção de um valor residual estabelecido pelo valor limite, o ângulo de orientação estimado B_{est} é então igual ao ângulo de orientação verdadeiro B_{verd} e as componentes de trajecto e de velocidade estimadas R_{xest} , R_{yest} , v_{xest} , v_{yest} são iguais às componentes de trajecto e velocidade verdadeiros R_{xverd} , R_{yverd} , v_{xverd} , v_{yverd} e a frequência *Doppler* estimada F_{iest} é igual à frequência *Doppler* verdadeira F_{verd} . O circuito 31 de valor limite utilizado para este fim está ligado a jusante do circuito 30 de iteração e controla o sistema 20 de estimação. Ao descer abaixo do valor

limite $\Delta P_{\min}$, os dados do alvo P são representados num dispositivo 100 indicador.

A fig. 7 mostra a evolução temporal da frequência de recepção medida F_{z1} de uma linha espectral emitida pelo alvo com a frequência de emissão $F_s = 1000$ Hz, quando se realiza uma manobra própria do veículo de transporte do sistema transdutor. Para a medição é determinante a manobra M1 da antena de arrasto, que é iniciada no tempo $t = 15$ min, depois de o alvo ter atingido o ponto mais próximo de aproximação CPA no tempo $t = 7,5$ min, ponto esse em que a frequência de recepção F_{z1} é igual à frequência de emissão F_s . No início da medição, a frequência de recepção era $F_{z1} = 1003,8$ Hz e passados 15 min era 996,3 Hz. Neste momento, a antena de arrasto começa a rodar devido à manobra M1 própria e a frequência de recepção F_{z1} aumenta novamente para 998 Hz. No fim da manobra própria diminui novamente a frequência de recepção F_{z1} ao longo do tempo t .

Os dados do alvo determinados com o processo de acordo com a invenção, com utilização da evolução temporal da frequência de recepção F_{z1} de acordo com a fig. 7, podem ser deduzidos dos diagramas na fig. 8. No cenário básico, tal como representado na fig. 7, realiza-se a manobra própria após 15 min. A fig. 8a mostra que já após 3 min a rota do alvo, que se encontra entre 28° e 34° , é estimada de forma estável. A fig. 8b mostra a distância R em relação ao alvo, estimada pelo processo de acordo com a invenção, que converge igualmente após pouco menos de 2,5 min. Verifica-se que a distância R diminui nos primeiros minutos e depois de 7,5 min atinge-se o CPA. Em seguida, a distância R em relação ao alvo aumenta de novo. A fig. 8c mostra a evolução da frequência de emissão estimada $F_s \approx 1.000$ Hz ao longo do tempo. Após 15,5 min a curva é interrompida porque neste momento

a manobra M1 própria da antena de arrasto é iniciada e durante esta manobra M1 da rota não são avaliados nenhuns dados de medição. A partir da fig. 8d é visível que logo após 3 min, a velocidade $v/m/s$ do alvo é estimada com segurança, oscilando entre 4,8 e 5,1 m/s.

Para a determinação dos dados do alvo na fig. 8 utilizou-se um tempo de filtragem de 30 min, isto é ângulos de orientação medidos B_{imed} e frequências de recepção F_{imed} , mais antigos que 30 min já não foram utilizados. No entanto, os gráficos dos dados do alvo na fig. 8 revelam que por meio do aproveitamento de informações de frequência, os dados do alvo podem ser estimados com segurança em menos de 5 min, de forma que se pode também trabalhar com um tempo de filtragem ou espaço de tempo de, *p. ex.* 5 min. No caso de manobras do alvo há a vantagem de, sem intervenção operacional, os dados do alvo poderem ser estimados novamente com segurança 5 min depois da manobra do alvo.

No circuito 24 de análise de frequência são analisados os sinais de grupos do ruído recebido com o sistema 10 transdutor. No caso da utilização de uma antena lateral linear ou de uma antena de arrasto como sistema 10 transdutor elabora-se por exemplo um lofargrama, em que se reconhecem as linhas espectrais de baixa frequência do ruído recebido e se determinam as suas frequências F_i . Igualmente, no caso da utilização de uma antena lateral, um chamado hidrofone de costado, deve-se realizar uma análise *Demon* dos sinais com características direccionais no *output* do formador 11 de feixes, em que o ruído recebido é desmodulado após uma filtragem passa-banda. A frequência moduladora é analisada e fornece linhas espectrais aquando das mesmas frequências que o lofargrama. Este espectro com frequência fundamental e os seus harmónicos é provocado pelas

rotações da hélice que faz mover o veículo aquático.

A análise espectral fornece no início do cenário, por exemplo frequências medidas $F_1 = 1045$ Hz e $F_2 = 1005$ Hz de duas linhas espectrais. A fig. 9 mostra a sua evolução temporal. Ambas as frequências medidas F_1 e F_2 , que pertencem às desconhecidas frequências de emissão emitidas $F_{s1} = 1000$ Hz e $F_{s2} = 1040$ Hz têm origem no mesmo alvo e estão apresentam percentualmente o mesmo desvio *Doppler*. São reunidas numa linha espectral artificial e então fornecidas à análise dos dados do alvo para avaliação. A frequência espectral virtual da linha espectral artificial é estabelecida por exemplo com $F_{kunst} = 1030$ Hz. Para a determinação da frequência de recepção F_{imed} são recolhidas várias frequências F_i medidas em intervalos de tempo Δt , reunidas e consideradas válidas. Esta frequência válida F_{g1} é utilizada para a transformação das frequências medidas F_{1i} , ao dividir a frequência espectral virtual F_{kunst} pela frequência válida F_{g1} e ao multiplicá-la pela frequência F_{1i} medida nesse momento. Assim, obtêm-se valores de frequência da frequência F_{k1} transformada na linha espectral artificial, como valores de medição da frequência de recepção F_{imed} , que oscilam entre limites estritos, em torno da frequência espectral virtual $F_{kunst} = 1030$ Hz.

$$F_{k1} = F_{imed} = \frac{F_{kunst}}{F_{g1}} \cdot F_{1i}$$

A segunda frequência medida F_2 perfaz 1005 Hz e é convertida na mesma frequência espectral virtual $F_{kunst} = 1030$ Hz, ao dividir a frequência espectral virtual $F_{kunst} = 1030$ Hz pela frequência F_{g2} originária de medições válidas e multiplicá-la pela frequência F_{2i} medida nesse momento:

$$F_{k2} = F_{imed} = \frac{F_{kunst}}{F_{g2}} \cdot F_{21}$$

A fig. 9 mostra além das frequências medidas F_{1i} e F_{2i} , as frequências transformadas F_{k1} e F_{k2} ao longo do tempo t que apresentam um *offset* de cerca de 2,7 Hz como desvio entre si. A frequência transformada F_{k2} é deslocada pelo desvio médio na direcção da frequência transformada F_{k1} ou vice-versa. A fig. 10 mostra o resultado. A evolução da frequência espectral F_k é fornecida como frequência de recepção F_{imed} para a análise dos dados do alvo.

Os diagramas da fig. 11 mostram os resultados da análise dos dados do alvo com incorporação da frequência espectral F_k como frequência de recepção F_{imed} . A fig. 11a mostra o ângulo de orientação B ao longo do tempo t/min . Até à primeira manobra $M1$, após 8 min, as primeiras estimações da distância em relação ao alvo são já estáveis, tal como se mostra na fig. 11b. A distância R entre o veículo de transporte com sistema transdutor e o alvo é, após 5 min de 7 km. A fig. 11c mostra a velocidade $v/\text{m/s}$ do alvo ao longo do tempo t , que assume igualmente, após 3 min, valores estáveis de 3 m/s a 5 m/s.

Só a rota não pode ser determinada com clareza neste durante este tempo, tal como se mostra na fig. 11d. Mas mesmo antes de se realizar a primeira manobra $M1$, a rota é estimada com segurança passados 7 min. Passados 8 min, o veículo de transporte realiza uma manobra $M2$ de velocidade. De todos os gráficos de dados do alvo 11a a 11c conclui-se que esta manobra $M2$ de velocidade não perturba a estimação dos dados do alvo,

confirmando sim os valores obtidos até então. Após 4 min a manobra M2 termina. Por meio de alterações da componente de velocidade radial V_R , esta manobra M2 de velocidade conduz a uma alteração do desvio *Doppler* e, por conseguinte, da frequência de recepção F_{imed} . Esta alteração não é notável pela negativa na análise dos dados do alvo. Também a segunda manobra M2 de velocidade, após 19 min, não conduz a uma perda da determinação dos dados do alvo. Após 29 min, o veículo de transporte realiza uma manobra de rota, isto é o ângulo de orientação relativo ao veículo altera-se em relação ao alvo e a alteração do ângulo de orientação é muito grande. Durante este tempo não é possível uma estimação estável do ângulo de orientação, tal como se pode deduzir da lacuna na curva da fig. 11a. Após conclusão da manobra M3 obtém-se novamente a partir dos 32,5 min uma estimação estável do ângulo de orientação. No entanto, esta manobra M3 de rota não perturba nem a determinação da rota k do alvo, de acordo com a fig. 11d, nem a estimação da distância R , de acordo com a fig. 11b, nem mesmo a determinação da velocidade, de acordo com a fig. 11c.

Em resumo, pode-se verificar que se conclui claramente dos gráficos de dados do alvo, de acordo com a fig. 11, que as primeiras estimações dos dados do alvo sem manobras próprias são atingidas num tempo de convergência de menos de 7 min e que manobras de velocidade e de rota do veículo de transporte não prolongam o tempo de convergência da estimação dos dados do alvo.

Lisboa, 31 de Outubro de 2006

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para a determinação passiva de dados do alvo por meio de recepção selectiva direccional de ondas sonoras irradiadas ou emitidas por um alvo, com um sistema transdutor electroacústico de uma estação de recepção sonora num veículo de transporte, a partir de ângulos de orientação estimados (B_{iest}), que são determinados a partir de posições estimadas do alvo, e de ângulos de orientação medidos (B_{imed}), em que o diferencial de ângulos de orientação entre os ângulos de orientação medido e estimado é minimizado de forma iterativa, caracterizado por as ondas sonoras recebidas num ângulo de orientação serem submetidas a uma análise de frequência e se determinar a frequência de pelo menos uma linha espectral como frequência de recepção (F_{imed}), por se determinar um diferencial de frequências (ΔF_i ; $B_{imed}-B_{iest}$) entre a frequência de recepção (F_{imed}) e uma frequência *Doppler* estimada (F_{iest}), por se determinar a frequência *Doppler* estimada (F_{iest}) a partir de uma frequência de emissão estimada (F_{sest}) irradiada pelo alvo e de um desvio *Doppler* (Q) constituído por posições do alvo estimadas (R_{xiest} , R_{yiest}), que são também utilizadas para determinar o ângulo de orientação estimado (B_{iest}), e por as suas alterações temporais (R_{xiest} , R_{yiest}) na direcção da orientação e por se determinar um diferencial de ângulos de orientação (δ_i ; δ_i^* ; $B_{imed} - B_{iest}$) como diferencial entre o ângulo de medição medido (B_{imed}) e o ângulo de orientação estimado (B_{iest}) e por se determinar o mínimo da soma a partir do quadrado do diferencial de ângulos de orientação $B_{imed}-B_{iest}$ e do quadrado do diferencial de frequências $F_{imed}-$

F_{iest} por meio do número I_k de todos os ângulos de orientação medidos, de forma iterativa, de acordo com a seguinte fórmula

$$\sum_{i=1}^{I_k} \left[\left(B_{imed} - B_{iest} \right)^2 + \left(F_{imed} - F_{iest} \right)^2 \right] = \min$$

em que a posição estimada ao atingir o mínimo fornece os dados do alvo.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a frequência de recepção ser determinada com uma análise *Lofar*.
3. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a frequência de recepção ser determinada com uma análise *Demon*.
4. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado por serem reunidas as frequências medidas de várias linhas espectrais e formarem valores de medição da frequência de recepção (F_{imed}).
5. Processo de acordo com a reivindicação 4, caracterizado por as frequências medidas de várias linhas espectrais serem transformadas individualmente em valores de frequência de uma frequência espectral virtual de uma linha espectral artificial comum e formarem valores de medição da frequência de recepção F_{imed} .
6. Processo de acordo com a reivindicação 5, caracterizado por

a frequência espectral virtual ser a frequência medida de uma das linhas espectrais recebidas.

7. Processo de acordo com a reivindicação 5, caracterizado por o valor médio dos valores de frequência transformados formarem os valores de medição da frequência de recepção (F_{imed}).
8. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 5 ou 6, caracterizado por um desvio quadrático médio de todos os valores de frequência transformados ser calculado a partir de um valor de frequência transformado seleccionado e os valores de frequência transformados serem deslocados por este desvio e formarem valores de medição da frequência de recepção (F_{imed}).
9. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado por componentes x-y ($R_{xiest} - \Delta R_x$; $R_{yiest} - \Delta R_y$) serem multiplicadas a partir de uma posição inicial (X_0, Y_0) mais um termo de trajecto dependente da velocidade $[(v_x + \Delta v_x) \cdot \Delta t, (v_y + \Delta v_y) \cdot \Delta t]$, com erros de componentes de velocidade ($\Delta v_x, \Delta v_y$) e erros de componentes de trajecto ($\Delta x_0, \Delta y_0$), pelas suas derivadas temporais e este produto ser dividido pela soma das componentes x-y e constituir a função quociente

$$Q(\Delta P) = \frac{1}{c} \frac{(\dot{R}_{xest} - \Delta \dot{R}_x)(R_{xest} - \Delta R_x) + (\dot{R}_{yest} - \Delta \dot{R}_y)(R_{yest} - \Delta R_y)}{\sqrt{(R_{xest} - \Delta R_x)^2 + (R_{yest} - \Delta R_y)^2}}$$

que é igual ao desvio *Doppler* e em que $\Delta P = (\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y)$ representa um vector de erro e c a velocidade do som,

por a frequência de emissão estimada F_{sest} reduzida num erro de frequência de emissão ΔF_s ser multiplicada pela diferença de um e da função quociente $Q(\Delta P)$ e indicar a frequência *Doppler* estimada com o erro do diferencial de frequências (ΔF_i) de acordo com a seguinte fórmula:

$$F_{iest} - \Delta F_i = (F_{sest} - \Delta F_s) \left[1 - Q(\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y) \right] \quad (XXIII)$$

10. Processo de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por o vector de erro (ΔP) ser formado pelos erros de componentes de trajecto ($\Delta x_0, \Delta y_0$), pelos erros de componentes de velocidade ($\Delta v_x, \Delta v_y$) e pelo erro de frequência de emissão (ΔF_s), por a frequência *Doppler* estimada ($F_{iest} - \Delta F_i$) ser desenvolvida numa série de *Taylor* em torno do vector de erro (ΔP), por os seus coeficientes de frequência serem determinados por diferenciação parcial segundo o vector de erro (ΔP), o seu primeiro termo ser igual à frequência de recepção medida (F_{imed}) e o seu segundo termo, de acordo com a fórmula apresentada abaixo, ser igual ao produto dos coeficientes (g_{i1}) de frequência multiplicados pelo vector de erro (ΔP) e formar o diferencial de frequências (ΔF_i) para a determinação do mínimo:

$$\Delta F_i = \sum_{i=1}^5 g_{i1} \cdot \Delta P_i$$

11. Processo de acordo com a reivindicação 10, caracterizado por ser determinada uma função trigonométrica a partir das componentes x-y ($R_{xiest} - \Delta R_{xi}; R_{yiest} - \Delta R_{yi}$), por o diferencial de ângulos de orientação ser determinado por um

desenvolvimento em série de *Taylor* da função trigonométrica, por o vector de erro (ΔP_i) constituídos pelos erros de componentes de trajecto ($\Delta x_0, \Delta y_0$) e pelos erros de componentes de velocidade ($\Delta v_x, \Delta v_y$) formar as variáveis no desenvolvimento em série de *Taylor*, por os seus coeficientes (h_{i1}) parciais serem determinados por meio de diferenciação parcial da função trigonométrica segundo o vector de erro (ΔP_1), o seu primeiro termo ser igual ao ângulo de orientação medido (B_{imed}) e o seu segundo termo ser igual ao produto do coeficiente (h_{i1}) parcial multiplicado pelo vector de erro (ΔP_i) e formar assim o diferencial de ângulos de orientação δ^*_i de acordo com a seguinte fórmula:

$$\delta^*_i = \left[B_{imed} - B_{iest} \right]^2 = \sum_{i=1}^4 \left\{ h_{i1} \cdot \Delta P_1 \right\}^2,$$

e por a soma do diferencial de ângulos de orientação δ^*_i ao quadrado e o diferencial de frequências ΔF_i ao quadrado ser iterativamente minimizada de acordo com a fórmula apresentada em seguida e o seu mínimo fornecer os dados do alvo.

$$\sum_{i=1}^{12} \left[\left(B_{imed} - B_{iest} \right)^2 + \left(F_{imed} - F_{iest} \right)^2 \right] =$$

$$\sum_{i=1}^{12} \left\{ \left[\sum_{i=1}^4 h_{i1} \cdot \Delta P_1 \right]^2 + \left[\sum_{i=1}^5 g_{i1} \cdot \Delta P_1 \right]^2 \right\} = \min$$

12. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, caracterizado por ao longo de um espaço de tempo,

durante um movimento em linha recta do veículo de transporte ao longo de um rumo próprio se medir um número (I_k) de ângulos de orientação (B_{imed}) em relação ao alvo e se determinar um valor médio de ângulos de orientação ($\overline{B_{mess}}$) a partir dos ângulos de orientação medidos (B_{imed}), por se determinar para cada ângulo de orientação medido (B_{imed}) um ângulo de orientação estimado (B_{iest}), por se calcular um valor médio de ângulos estimados ($\overline{B_{est}}$) a partir dos ângulos de orientação estimados (B_{iest}), por se subtrair de cada ângulo de orientação medido (B_{imed}) o valor médio de ângulos de orientação ($\overline{B_{mess}}$) e por se subtrair de cada ângulo de orientação estimado (B_{iest}) o valor médio de ângulos estimados ($\overline{B_{est}}$) e formar respectivamente um valor diferencial de medição e um valor diferencial de estimação, por se subtrair o valor diferencial de medição e o valor diferencial de estimação e por esta subtracção fornecer um desvio do ângulo de orientação (D), sem ângulo de orientação sistemático (ϑ), do ângulo de orientação estimado (B_{iest}), do ângulo de orientação medido (B_{imed}) e por se determinar, através de um espaço de tempo $I_k \cdot \Delta t_i$ de todas as medições de ângulos de orientação e respectivamente através do número I_k de todas as medições de ângulos de orientação, a soma dos desvios do ângulo de orientação (D) ao quadrado $D = [(B_{imed} - \overline{B_{mess}}) - (B_{iest} - \overline{B_{est}})]$ e dos diferenciais de frequências $\Delta F_i = (F_{imed} - F_{iest})$ ao quadrado e por se determinar, de forma iterativa, o mínimo da soma (min), proporcionando deste modo os dados do alvo de acordo com a seguinte fórmula:

$$\sum_{i=1}^{14} \left\{ \left[\left(B_{imed} - \overline{B_{med}} \right) - \left(B_{iest} - \overline{B_{est}} \right) \right]^2 + \left(F_{imed} - F_{iest} \right)^2 \right\} = \min$$

13. Processo de acordo com as reivindicações 11 e 12, caracterizado por se formar a função trigonométrica e o seu valor médio, por se determinar o desvio ou o desvio ao quadrado por meio de um desenvolvimento em série de *Taylor* da função trigonométrica e do seu valor médio segundo o vector de erro (ΔP_i), por os seus coeficientes (γ_{i1}) serem iguais aos coeficientes (h_{i1}) parciais e aos seus valores médios ($\overline{h_1}$), por o seu primeiro termo ser igual ao valor diferencial de medição e o seu segundo termo ser igual ao produto dos coeficientes (γ_{i1}) multiplicados pelo vector de erro (ΔP_i) e formar o desvio (D), por a soma do desvio ao quadrado e do diferencial de frequências ao quadrado ser minimizada, de acordo com a seguinte fórmula

$$\sum_{i=1}^{14} \left\{ \left[\sum_{l=1}^4 (h_{il} - \overline{h_l}) \cdot \Delta P_l \right]^2 + \left[\sum_{l=1}^5 g_{il} \cdot \Delta P_l \right]^2 \right\} = \min$$

Lisboa, 31 de Outubro de 2006

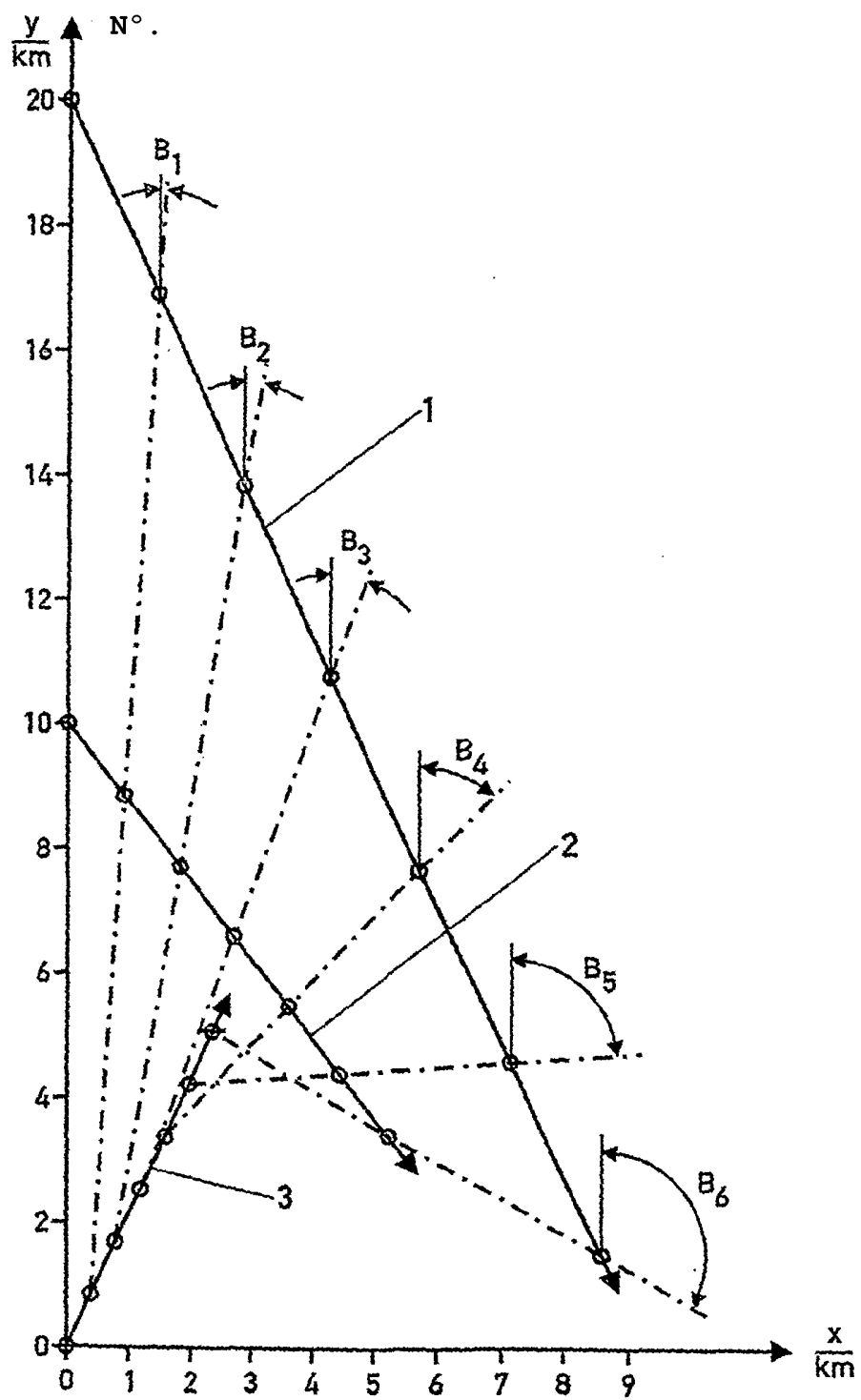


Fig. 1

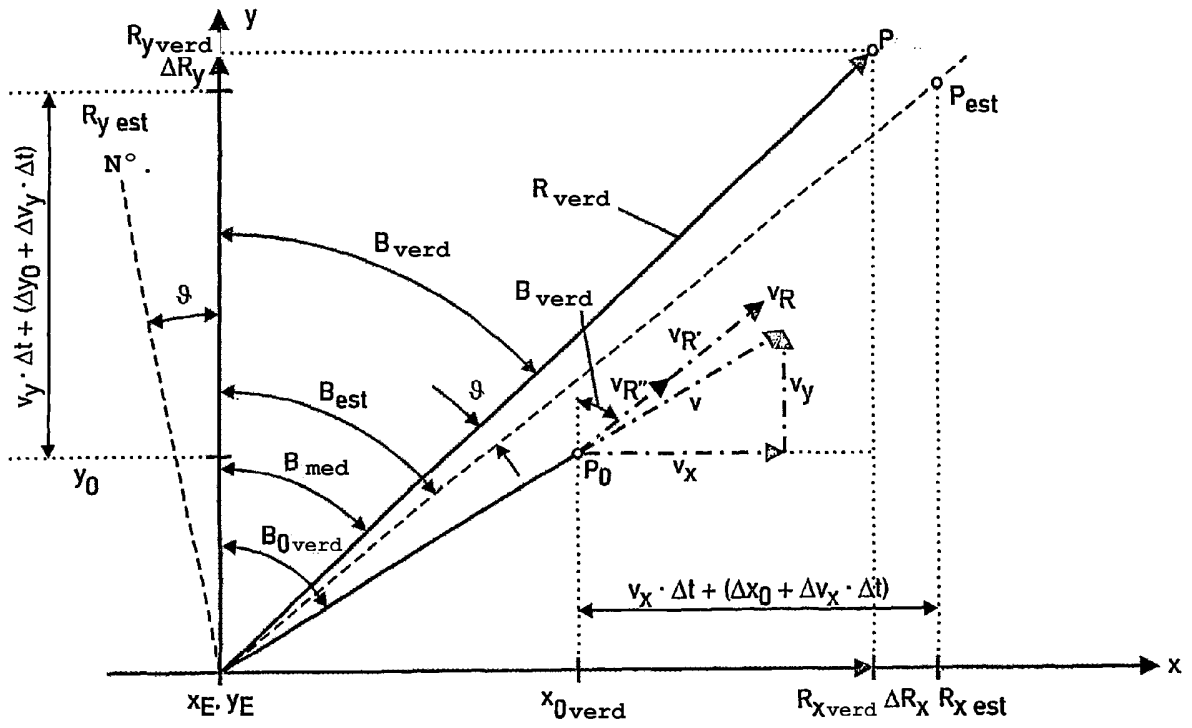


Fig. 2

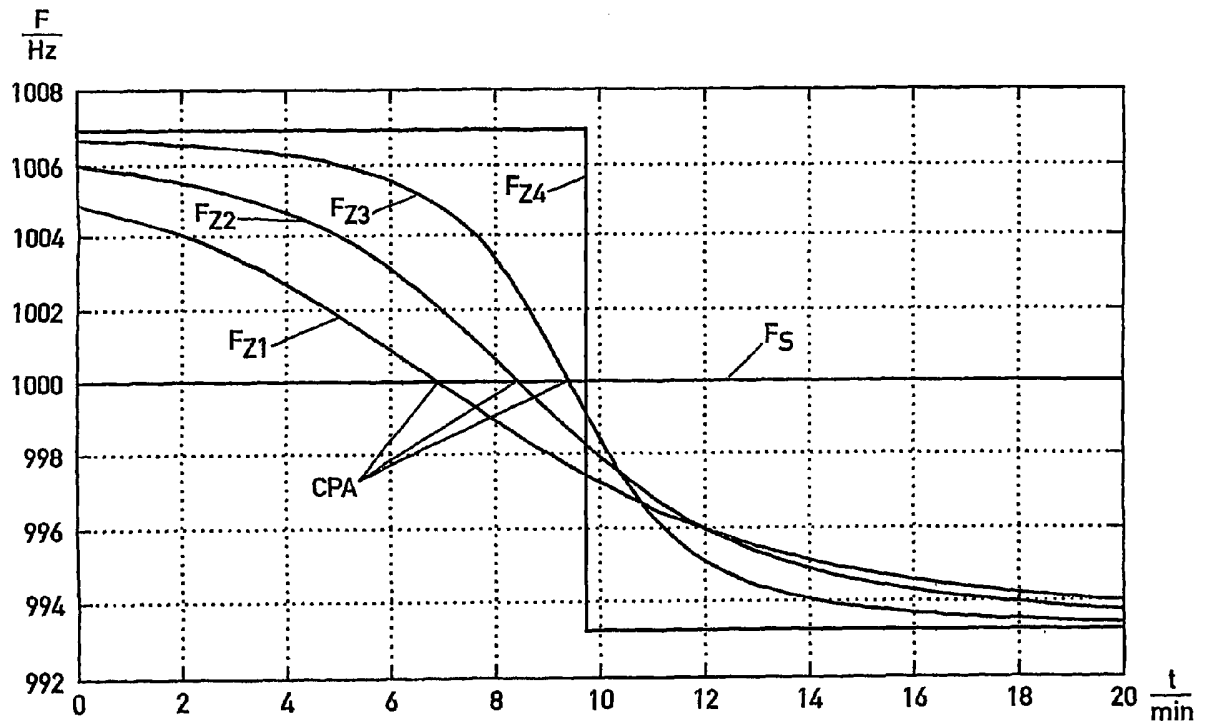


Fig. 3

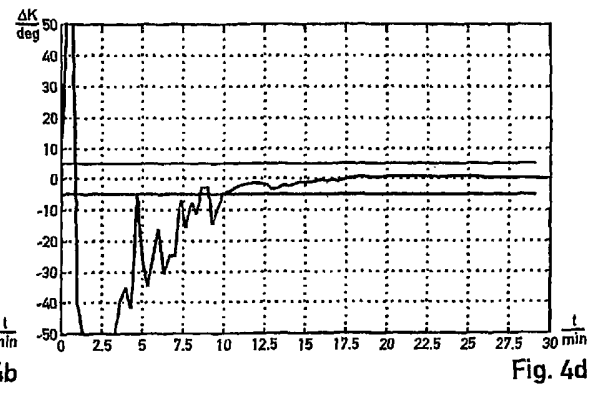
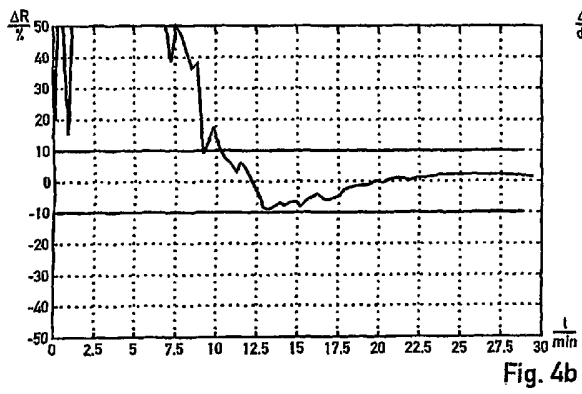
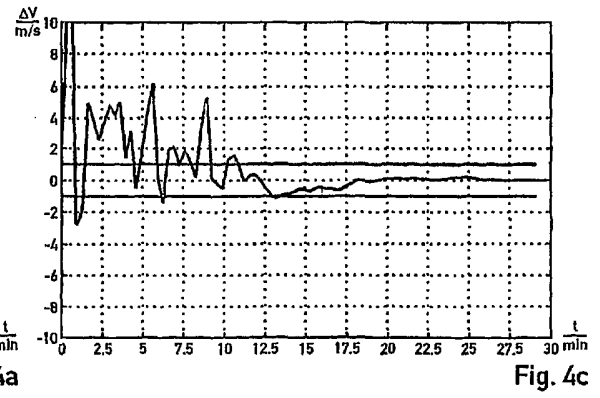
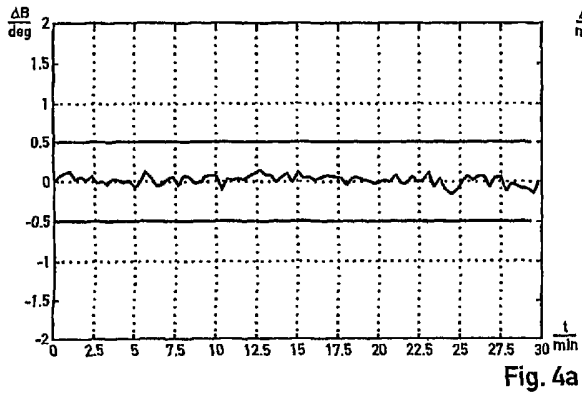
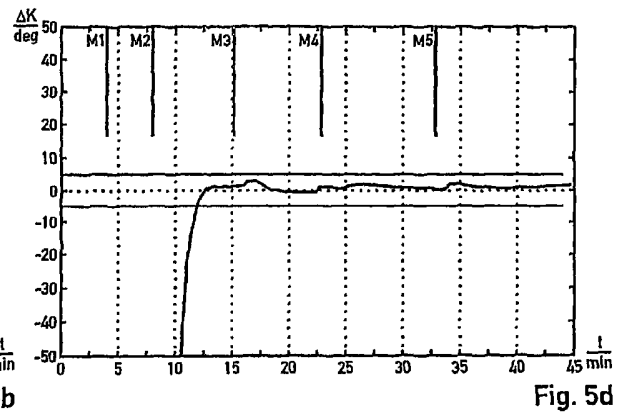
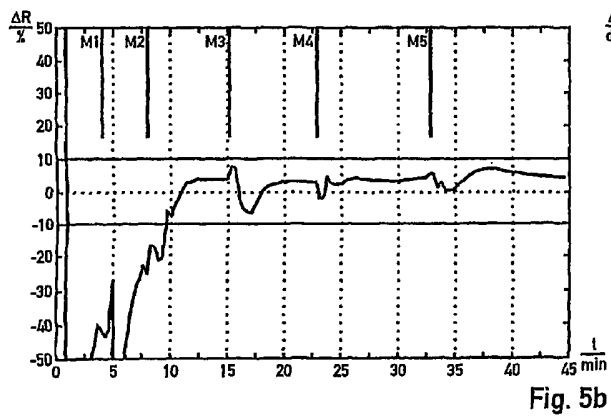
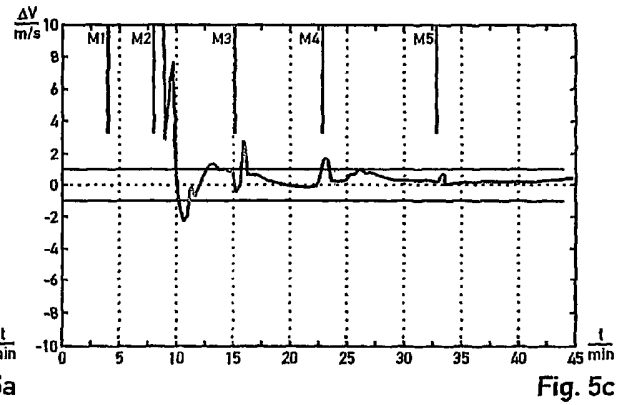
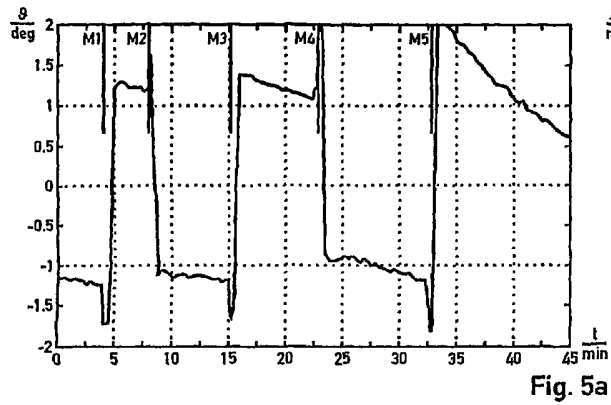
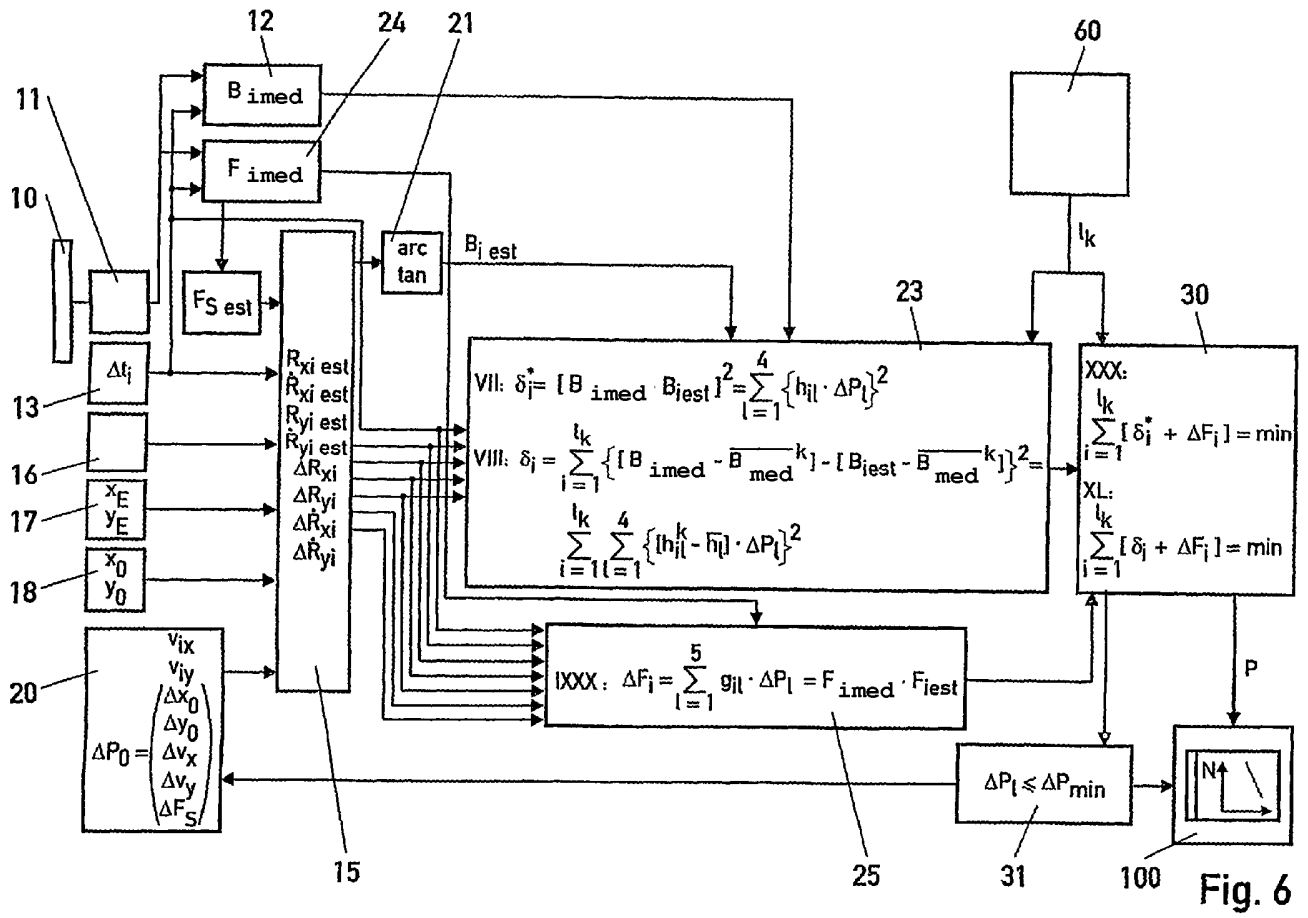


Fig. 4

**Fig. 5**



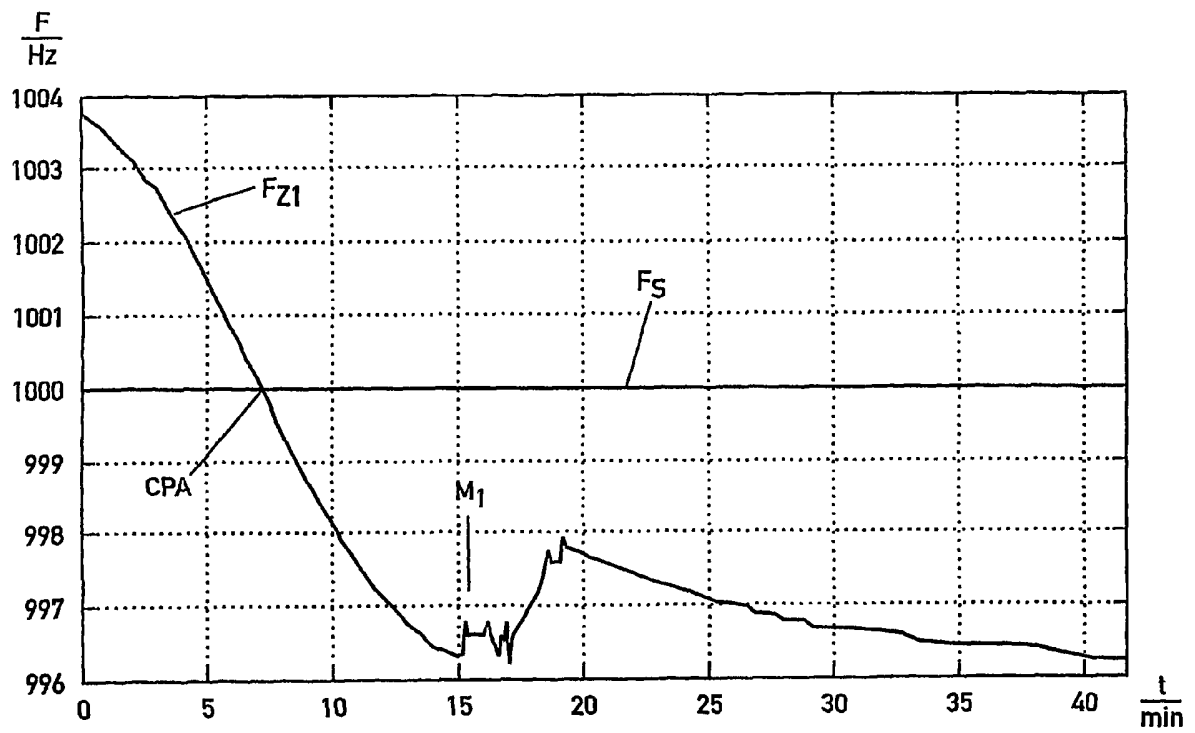


Fig. 7

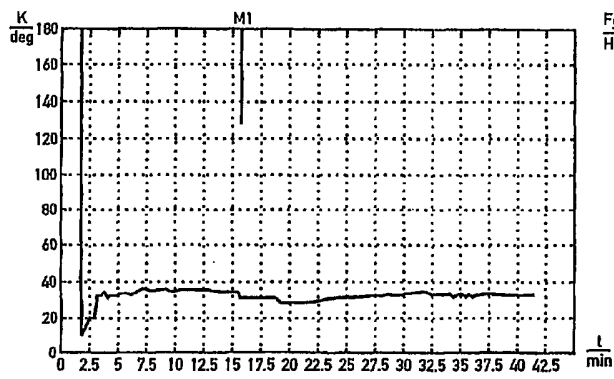


Fig. 8a

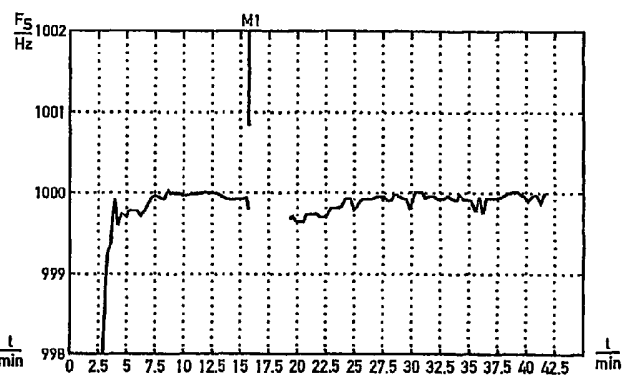


Fig. 8c

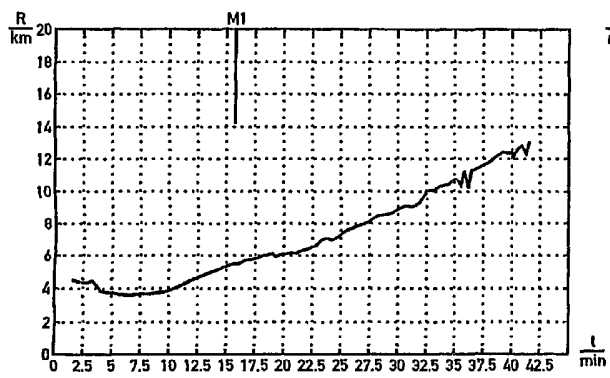


Fig. 8b

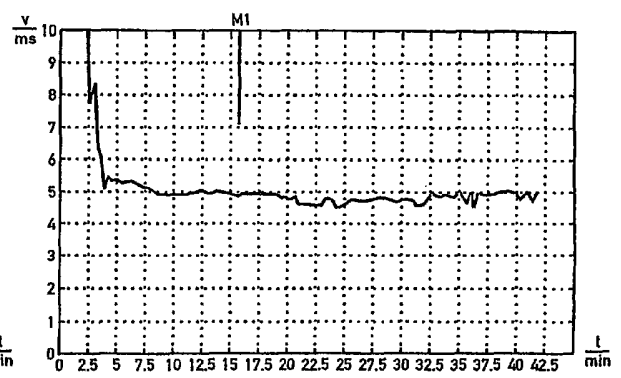


Fig. 8d

Fig. 8

9/11

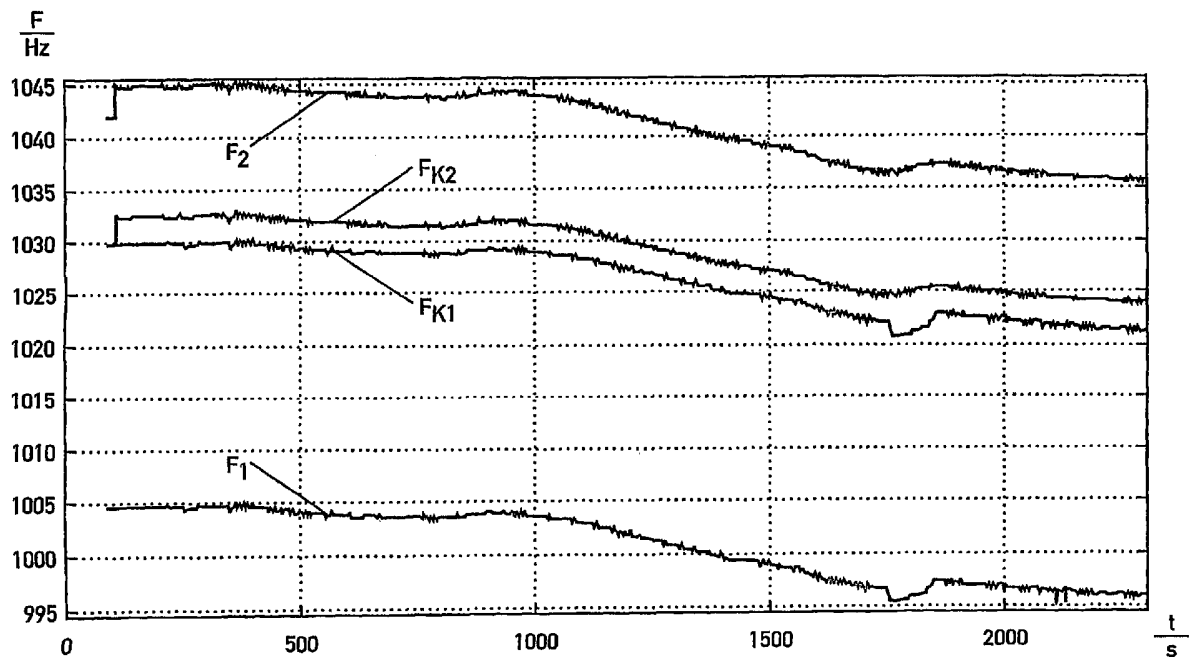


Fig. 9

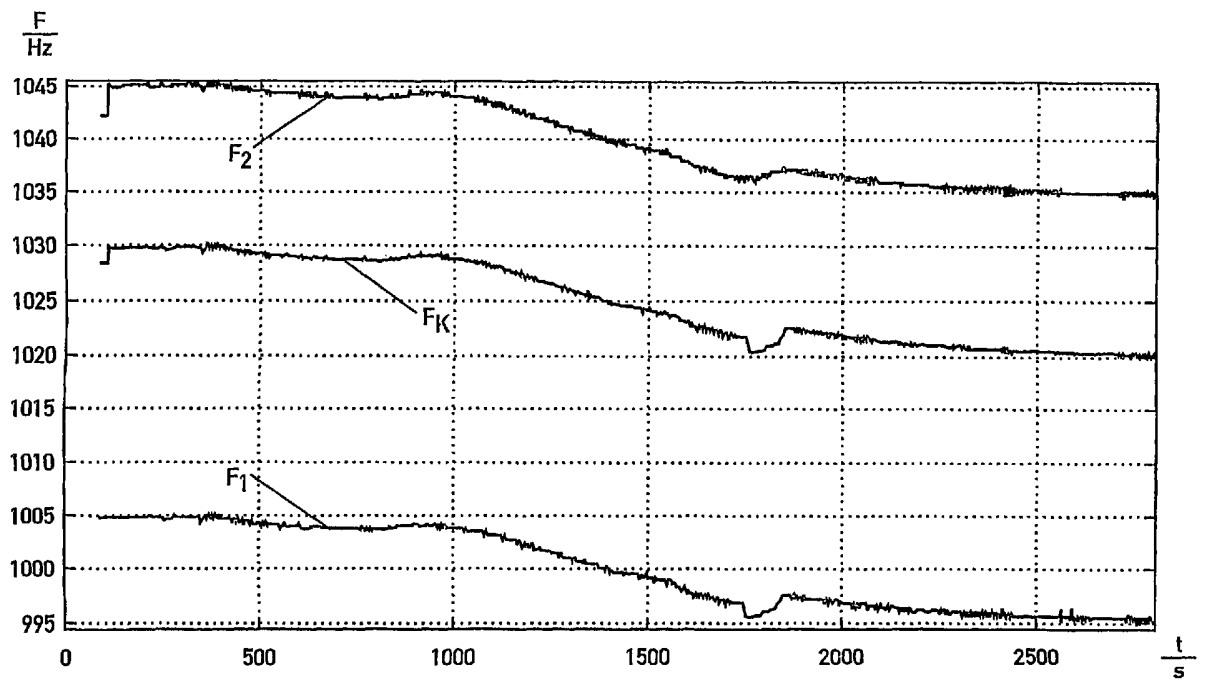


Fig. 10

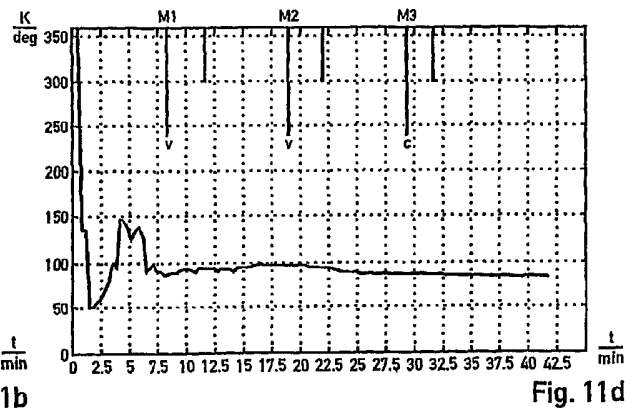
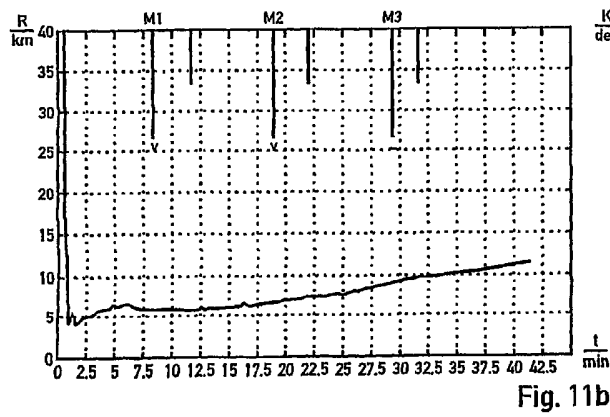
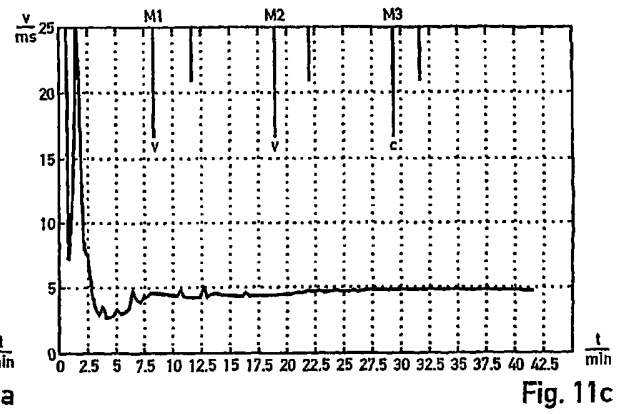
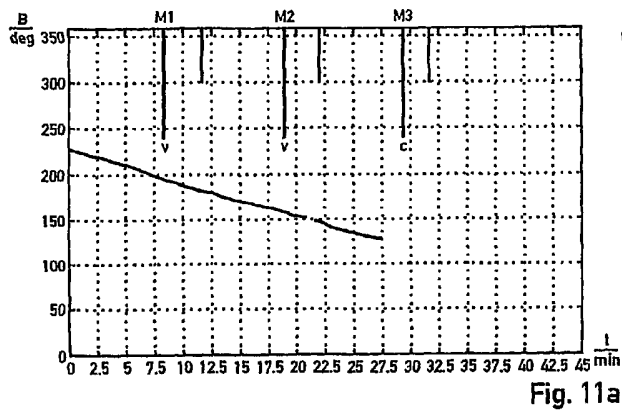


Fig. 11