

(11) Número de Publicação: **PT 2569130 E**

(51) Classificação Internacional:  
**B25J 9/16** (2014.01)   **G05B 19/408** (2014.01)

**(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

(22) Data de pedido: **2011.05.13**

(30) Prioridade(s): **2010.05.14 FR 1053769**

(43) Data de publicação do pedido: **2013.03.20**

(45) Data e BPI da concessão: **2014.04.02**  
**130/2014**

(73) Titular(es):

**STAUBLI FAVERGES**  
**PLACE ROBERT STÄUBLI 74210 FAVERGESFR**

(72) Inventor(es):

**LUC JOLY** FR  
**JEAN MICHEL BONNET DES TUVES** FR  
**FRANÇOIS PERTIN** FR  
**GÉRALD VOGT** FR

(74) Mandatário:

**LUÍS MANUEL DE ALMADA DA SILVA CARVALHO**  
**RUA VÍCTOR CORDON, 14 1249-103 LISBOA** PT

(54) Epígrafe: **PROCESSO DE COMANDO DE UMA CÉLULA DE TRABALHO AUTOMATIZADA**

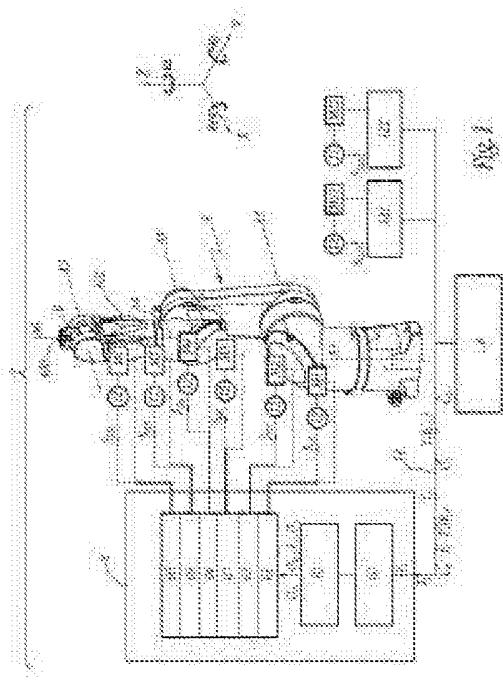
(57) Resumo:

A INVENÇÃO REFERE-SE A UM PROCESSO DE COMANDO APLICADO A UMA CÉLULA DE TRABALHO AUTOMATIZADA, QUE INCLUI, PELO MENOS, UM BRAÇO DE ROBÔ (4) QUE TEM, PELO MENOS, TRÊS GRAUS DE LIBERDADE COMANDADOS DE ACORDO COM UMA PLURALIDADE DE EIXOS DE COMANDO (A1 - A6; X, Y, Z, RX, RY, RZ), UM CENTRO DE COMANDO (8); UM DISPOSITIVO (6) PARA CONTROLAR O BRAÇO DO ROBÔ (4), QUE INCLUI UMA PLURALIDADE DE CONTROLADORES DE MOTOR (61-66), CADA UM CONTROLANDO A OPERAÇÃO DE UM MOTOR (M1-M6) AO LONGO DE UM EIXO, ADEQUADO PARA OPERAR, PELO MENOS, UMA PORÇÃO DO BRAÇO DO ROBÔ (4); E UM BARRAMENTO DE COMUNICAÇÃO (14) ENTRE O CENTRO DE COMANDO (8) E O DISPOSITIVO (6) PARA CONTROLAR O BRAÇO DO ROBÔ (4). O REFERIDO PROCESSO INCLUI ETAPAS QUE CONSISTEM EM: A) ASSOCIAR A CADA EIXO (A1-A6; X, Y, Z, RX, RY, RZ), PARA CONTROLAR O MOVIMENTO DO BRAÇO DO ROBÔ (4), UM CONTROLADOR QUE TEM UM EIXO IMAGINÁRIO DESTINADO A RECEBER INSTRUÇÕES E CONTROLAR, PELO MENOS, UM MOTOR DE ACORDO COM AS DITAS INSTRUÇÕES; B) DETERMINAR, NO CENTRO DE COMANDO (8) E PARA CADA UM DOS EIXOS (A1-A6; X, Y, Z, RX, RY, RZ) DE FORMA A CONTROLAR O MOVIMENTO DO BRAÇO DO ROBÔ (4), INSTRUÇÕES (CRI) DESTINADAS AO CONTROLADOR DO EIXO IMAGINÁRIO QUE CORRESPONDE A CADA UM DOS REFERIDOS EIXOS; E, EM SEGUIDA, C) ENVIAR AS INSTRUÇÕES (CÛ) DETERMINADAS NA ETAPA B) A UMA ÚNICA UNIDADE ARITMÉTICA (19), PERTENCENTE AO DISPOSITIVO (6) PARA CONTROLAR O BRAÇO DE ROBÔ (4).

**RESUMO****"PROCESSO DE COMANDO DE UMA CÉLULA DE TRABALHO AUTOMATIZADA"**

A invenção refere-se a um processo de comando aplicado a uma célula de trabalho automatizada, que inclui, pelo menos, um braço de robô (4) que tem, pelo menos, três graus de liberdade comandados de acordo com uma pluralidade de eixos de comando (A1 - A6; X, Y, Z, Rx, Ry, Rz), um centro de comando (8); um dispositivo (6) para controlar o braço do robô (4), que inclui uma pluralidade de controladores de motor (61-66), cada um controlando a operação de um motor (M1-M6) ao longo de um eixo, adequado para operar, pelo menos, uma porção do braço do robô (4); e um barramento de comunicação (14) entre o centro de comando (8) e o dispositivo (6) para controlar o braço do robô (4). O referido processo inclui etapas que consistem em: a) associar a cada eixo (A1-A6; X, Y, Z, Rx, Ry, Rz), para controlar o movimento do braço do robô (4), um controlador que tem um eixo imaginário destinado a receber instruções e controlar, pelo menos, um motor de acordo com as ditas instruções; b) determinar, no centro de comando (8) e para cada um dos eixos (A1-A6; X, Y, Z, Rx, Ry, Rz) de forma a controlar o movimento do braço do robô (4), instruções (Cri) destinadas ao controlador do eixo imaginário que corresponde a cada um dos referidos eixos; e, em seguida,

c) enviar as instruções (C $\hat{U}$ ) determinadas na etapa b) a uma única unidade aritmética (19), pertencente ao dispositivo (6) para controlar o braço de robô (4).



**DESCRIÇÃO****"PROCESSO DE COMANDO DE UMA CÉLULA DE TRABALHO  
AUTOMATIZADA"**

A invenção refere-se a um processo de comando de uma célula de trabalho que compreende um robô, uma central de comando, um dispositivo de controle do robô e um barramento de comunicação entre a central de comando e o dispositivo de controle do robô.

No domínio de manobrar braços robóticos, sabe-se que uma central de comando comunica, através de um barramento, com controladores de eixos adaptados para accionar os motores que permitem o movimento das diferentes partes de um robô. Esta central de comando interpreta as instruções de movimentação dadas por um utilizador ou por um programa criado pelo utilizador, de forma a definir as instruções de movimentação para cada um dos eixos de movimentação do robô.

O documento WO-A-2006/062948 descreve um processo de comando de um braço de robô segundo vários eixos de comando compreendendo uma central de comando que transmite comandos de movimentação ao robô, como um todo, através de um barramento para uma unidade de cálculo pertencente ao dispositivo de controle do braço do robô. Esta unidade de cálculo vai traduzir os comandos de

movimentação recebidos em ordens de movimentação para os diferentes controladores de motores.

Os movimentos das partes do robô em relação aos diferentes eixos são calculados na central de comando através da aplicação de um modelo geométrico inverso que depende do tipo de braço de robô utilizado. Para mover efectivamente as diferentes partes do robô, cada um dos motores recebe ordens de deslocamento correspondentes às instruções de movimentação dos eixos. Estes deslocamentos são calculados usando o modelo cinemático de transmissões próprio ao braço do robô que tem em conta as relações de redução e possíveis equações de acoplamento. Com efeito, é comum que o deslocamento de um eixo seja o resultado do comando de dois ou mais motores.

Na medida em que cada robô comprehende características cinemáticas específicas, é necessário incorporar na central de comando características inerentes ao tipo de robô utilizado tais como o modelo cinemático inverso e o modelo cinemático das transmissões. Isto tem o efeito de tornar os programas incorporados na central de comando relativamente complexos e pouco versáteis, uma vez que devem ser modificados se o tipo de robô utilizado muda.

Além disso, os programas implementados pela central de comando devem tratar os constrangimentos de funcionamento ligados à especificidade de um braço de robô, o que faz com que cada comando ou evento referente a um

motor possa necessitar um tratamento que envolva os outros motores do braço do robô. Por exemplo, no caso de falha de um dos motores do braço do robô, os outros motores têm de ser parados e o conjunto dos motores do braço do robô deve ser declarado fora de serviço.

São estes inconvenientes que a invenção pretende remediar propondo um novo processo de comando de uma célula de trabalho automatizada, permitindo simplificar a programação da central de comando, melhorar a velocidade de comunicação com os diferentes controladores de eixos bem como melhorar a precisão do comando do robô.

Para este fim, a invenção refere-se a um processo de comando de uma célula de trabalho automatizada, incluindo, pelo menos, um braço de robô com, pelo menos, três graus de liberdade manobrados segundo vários eixos de comando, uma central de comando, um dispositivo de controle do braço do robô, incluindo vários controladores de motores que accionam, cada um, o funcionamento de um motor adaptado para manobrar pelo menos uma parte do braço do robô, e um barramento de comunicação entre a central de comando e o dispositivo de controle de braço do robô. Este processo é caracterizado por compreender as seguintes etapas:

- a) associar a cada eixo de comando de movimentação do braço do robô um controlador de eixo fictício que deverá receber instruções e accionar, pelo menos, um motor em função dessas instruções;

- b) determinar, ao nível da central de comando, para cada eixo de comando de movimentação do braço do robô, instruções destinadas ao controlador de eixo fictício correspondente a cada um desses eixos;
- c) transmitir as instruções, determinadas na etapa b), a uma única unidade de cálculo pertencente ao dispositivo de controle do braço do robô;

O manobrar de um braço de robô é baseado na identificação de eixos de comando de movimentação, isto é, de quantidades geométricas, tais como os comprimentos ou os ângulos que permitem exprimir a movimentação da extremidade do braço do robô.

Graças à invenção, o programador da central de comando pode considerar cada um dos eixos de comando de movimentação do braço do robô como um eixo independente, com o qual ele comunica da mesma maneira como com um controlador de eixo de um outro motor que não faria parte de um braço do robô. A presença da unidade de cálculo no dispositivo de controle do robô permite simplificar a programação da central de comando, na medida em que esta não têm que incorporar os dados específicos de cada braço do robô e não deve gerir a comunicação com cada um dos controladores dos motores.

De acordo com uma primeira possibilidade, cada

eixo de comando de movimentação do braço do robô corresponde a um grau de liberdade do braço do robô. O programador da central de cálculo é, assim, dispensado do conhecimento do modelo cinemático das transmissões.

De acordo com uma segunda possibilidade, cada eixo de comando de movimentação do braço do robô é um eixo cartesiano ou uma rotação correspondente de deslocamento da extremidade do braço do robô. O programador da central de comando é, assim, dispensado do conhecimento do modelo geométrico inverso do braço do robô. Este modelo é aplicado na unidade de cálculo que pertence ao dispositivo de controle do braço do robô. O programador pode pensar em mudar o tipo de braço do robô sem ter que actualizar um modelo cinemático inverso implementado pela central de comando.

De acordo com as características vantajosas, mas não obrigatórias da invenção, um tal processo de comando pode incorporar uma ou mais das seguintes características, tomadas com qualquer combinação tecnicamente possível:

- O processo comprehende etapas adicionais que consistem em d) determinar, no interior da unidade de cálculo e a partir das instruções recebidas da central de comando, instruções para o motor accionado por cada controlador de motor; e) transmitir a cada controlador de motor uma ordem, determinada na etapa d), para o motor accionado pelo controlador de motor. Uma vez que a

determinação das instruções incluindo os cálculos das ordens de movimentação para cada um dos motores do robô é efectuada na unidade de cálculo que pertence ao dispositivo de controle do robô, tendo em conta o conjunto das instruções emitidas pela central de comando, podemos optimizar o funcionamento do robô e da célula de trabalho robotizada. Além disso, a unidade de cálculo implementa os tratamentos impostos pela especificidade de um braço do robô. Ela poupa, assim, ao programador da célula da central de comando a necessidade de incorporar procedimentos sofisticados de desligar ou ligar que se inserem no conhecimento dos especialistas em robótica.

- O processo comprehende etapas adicionais que consistem em: f) transmitir, a partir de cada controlador de motor e com destino à unidade de cálculo, a posição do motor que por ele accionado; g) calcular, na unidade de cálculo e com base no conjunto das posições dos motores, as posições de cada um dos eixos de comando de movimentação do braço do robô; e h) transmitir à central de comando as posições de cada um dos eixos de comando calculadas na etapa g).

- O processo comprehende etapas adicionais que consistem em i) calcular, na unidade de cálculo e com base no conjunto das posições dos motores, a velocidade cartesiana de um ponto característico; j) comparar a velocidade cartesiana calculada com um valor de limiar; k) transmitir a partir da unidade de cálculo e com destino à

central de comando um sinal de alerta se a velocidade cartesiana é superior ao valor de limiar.

- De um modo vantajoso, a unidade de cálculo tem em conta, no cálculo da etapa g), as datas de medição das posições dos motores e a data da transmissão à central de comando das posições de cada um dos eixos de comando do braço do robô para corrigir as posições dos eixos de comando de movimentação do braço do robô em função do movimento presumido do braço do robô. A unidade de cálculo melhora, assim, a sua sincronização com a central de comando.

- Na etapa d) são calculadas ordens de movimentação compreendendo as posições a atingir para cada motor para respeitar as instruções emitidas pela central de comando.

- Na etapa d), o cálculo de ordens de movimentação para cada motor é acompanhado por uma previsão do torque requerido para cada motor, com base nas instruções emitidas pela central de comando.

- As instruções emitidas pela central de comando contêm informações sobre a carga transportada por, pelo menos, um eixo de comando de movimentação.

- As posições a atingir para cada motor para respeitar as instruções emitidas pela central de comando

incluem uma compensação das deformações do braço do robô calculada a partir de, pelo menos, uma parte das estimativas do torque.

- O processo comprehende uma etapa que consiste em: 1) transmitir à central de comando um sinal representativo do estado de alimentação do robô, no qual o robô é declarado, respectivamente, como estando pronto para funcionar ou para ser desligado apenas se todos os motores estão ligados ou desligados e travados.

- O processo comprehende uma etapa que consiste em: m) transmitir, a partir da unidade de cálculo e com destino à central de comando, um sinal representativo do estado de funcionamento de todas as partes do robô, no qual todas as partes do robô são declaradas em situação de falha, se pelo menos uma dessas partes é detectada como não estando a funcionar.

- O barramento suporta um modo de comunicação síncrona.

- O barramento funciona com um modelo de interface do tipo SERCOS.

- A central de comando comunica com os controladores de eixos fictícios associados aos eixos de comando de movimentação do braço do robô utilizando os comandos de perfil de hardware "Profile drive". Estes

comandos standard associados com o perfil de hardware "profile drive" são amplamente utilizados para a programação de controladores de eixo único. O programador não tem que desenvolver ou utilizar comandos específicos para implementar um braço de robô numa célula de trabalho automatizada.

A invenção será melhor compreendida e outras vantagens da mesma serão mais evidentes à luz da descrição que se segue de um processo de comando de uma célula de trabalho automatizada de acordo com o seu princípio, dada unicamente a título de exemplo e feita com referência aos desenhos anexos, nos quais:

- a figura 1 é um diagrama estrutural de uma célula de trabalho automatizada implementando um processo de comando de acordo com a invenção;
- a figura 2 é um diagrama de blocos funcional que mostra as principais funções e os fluxos de comunicação em relação com o processo de comando de acordo com a invenção.

Como representado na figura 1, uma célula de trabalho automatizada 2 comprehende um braço de robô 4, um dispositivo 6 de controle do braço do robô 4, uma central de comando 8 bem como dois actuadores eléctricos parcialmente representados. O braço do robô 4 é, neste caso, constituído por um braço robótico de seis eixos

referenciados de A1 a A6. O termo "eixo" é, aqui, utilizado no sentido robótico, isto é, refere-se a um grau de liberdade. Neste caso, os graus de liberdade ou eixos A1 a A6 são rotações.

O dispositivo 6 de controle do robô está disposto perto do braço do robô 4 e comprehende seis controladores de motores 61 a 66. Cada um destes controladores de motores 61 a 66 está adaptado para accionar o funcionamento de um motor M1 a M6 capaz de manobrar uma parte do braço do robô 4.

O accionamento do motor M1 permite a rotação total da parte do braço do robô 4 situada entre o eixo A1 e a extremidade móvel do braço do robô 4 sem que qualquer outro eixo rode sobre si próprio. Do mesmo modo, o accionamento dos motores M2, M3, M4 e M6 permite, respectivamente, a rotação isolada dos eixos A2, A3, A4 e A6. Por outro lado, o accionamento do motor M5 tem como consequência a rotação dos eixos A5 e A6. Existe um acoplamento entre os eixos A5 e A6 e uma rotação isolada do eixo A5 requer o accionamento dos motores M5 e M6. Cada um dos motores M1 a M6 está equipado com um codificador 12 colocado no veio do motor, permitindo medir a posição angular do veio do motor e emitir um sinal eléctrico  $S_{12i}$ , sendo i um inteiro entre 1 e 6, contendo a informação dessa posição. Cada um dos dois actuadores eléctricos é manobrado por um motor M21 e M22, sendo, cada um destes motores, accionado, respectivamente, por um controlador de eixo 121

e 122 e associado a um codificador 12 que emite um sinal de posição  $S_{1221}$  ou  $S_{1222}$ .

Como representado esquematicamente na figura 2, a central de comando 8 comanda o funcionamento da célula automatizada 2 a partir de programas 30 criados por utilizadores para a realização de acções precisas, tais como, por exemplo, a montagem de um objecto que exige movimentos do braço do robô 4 e de eventuais acções de uma pinça ou de um transportador que comprehende os actuadores eléctricos manobrados pelos motores M21 e M22. Por exemplo, esses programas podem conter sequências de coordenadas cartesianas a serem alcançadas pela extremidade do braço do robô 4.

Em alternativa, as acções podem ser tomadas em tempo real pelo utilizador a partir de um painel de controle 32 fixo ou portátil acessível ao utilizador ou ao programador da célula de trabalho automatizada 2.

A central de comando 8 comunica com o dispositivo de controle 6 por intermédio de um barramento de campo 14, que funciona, de preferência, com o modelo de interface de tempo real série SERCOS III. A central de comando 8 é "mestre", enquanto que o dispositivo de controle 6 é "escravo".

O dispositivo de controle 6 comprehende uma placa de comunicação 60 dedicada à comunicação com a central de

comando 8 por meio do barramento de campo 14.

O dispositivo de controle 6 compreende também uma unidade de cálculo 10, cuja função é a de garantir a elaboração e a transmissão de instruções tais como ordens de movimentação ou de alimentação para os controladores de motores 61 a 66. A unidade de cálculo 10 compreende, nomeadamente, para este efeito microprocessadores e memórias. A unidade de cálculo 10 está adaptada para comunicar com cada um dos controladores de motores 61 a 66. Desta forma, cada transmissão de dados entre os controladores de motores 61 a 66 e a central de comando 8 é gerida pela unidade de cálculo 10, quer dos controladores de motores para a central como da central para os controladores de motores.

Os eixos de comando do braço do robô 4 são escolhidos como sendo os eixos A1 a A6 que correspondem aos graus de liberdade do braço do robô 4.

Durante a fase de inicialização própria do modelo de interface SERCOS III, a comunicação é definida de tal modo que cada eixo A1 a A6 do braço do robô 4 está associado a um controlador de eixo fictício. Estes controladores de eixos fictícios deverão receber instruções da central de comando 8, da mesma forma que os controladores de eixos genéricos e accionar, pelo menos, um motor com base nessas instruções. Eles são declarados como estando em conformidade ao perfil de hardware "Profile

drive" que define um conjunto de comandos para a configuração, para o manobrar, a consulta de estados e de posições, o diagnóstico e a supervisão. As instruções elaboradas pela central de comando 8 com base em comandos associados ao perfil de hardware "Profile drive" e utilizáveis pelos controladores de eixos fictícios são recebidas pela unidade de cálculo 10. A cada controlador de eixo fictício é atribuído um endereço da mesma forma que aos dois controladores de eixo 121 e 122 que comandam os actuadores externos do braço do robô 4 e presentes na célula de trabalho automatizada 2.

O processo de comando de acordo com a invenção é aplicado à fase de alimentação de todos os motores do braço do robô 4, antes de qualquer operação do braço do robô da célula de trabalho automatizada 2. Esta alimentação é iniciada pela central de comando 8 que transmite no barramento 14 um ou vários telegramas de dados mestre contendo instruções Coi, com i entre 1 e 6, de alimentação de cada um dos eixos A1 a A6. A placa de comunicação 60 do dispositivo de controle 6 capta estes telegramas. Em seguida, envia pedidos de interrupção para a unidade de cálculo 10 que recupera esses telegramas, extrai as instruções C<sub>oi</sub> para cada um dos eixos A1 a A6 do braço do robô 4 e procede ao seu tratamento. O protocolo de interface SERCOS III prevê que cada um dos dispositivos ligados ao barramento 14 é informado da localização dos dados que lhe dizem respeito num telegrama de dados mestre. A unidade de cálculo 10 regista as instruções de

alimentação e emite um telegrama de resposta para a central de comando 8, no qual os eixos afectados pela instrução são declarados como estando alimentados. Os motores só são realmente energizados e os travões soltos após a recepção desta última instrução de alimentação emitida pela central de comando 8. As ordens de alimentação 02i, com i entre 1 e 6, para cada motor M1 a M6 são enviadas pela unidade de cálculo 10 a cada controlador do motor 61-66. Quando todos os motores estão alimentados e quando a unidade de cálculo 10 recebe dos controladores de motores 61 a 66 a informação de que cada um dos motores M1 a M6 está alimentado, um telegrama T0, indicando à central de comando 8 que o último eixo está pronto para funcionar, é emitido pela unidade de cálculo 10, através da placa 60.

Para o programador da central de comando 8, as ordens de alimentar os motores M1 a M6 dos eixos A1 a A6 do braço do robô 4 são semelhantes às de alimentar os outros motores M21 e M22 efectuadas na célula automatizada 2 uma vez que os eixos do braço do robô 4 e os outros dois eixos são conhecidos da central de comando 8 como conformes ao perfil de hardware "Profile drive". Como a unidade de cálculo 10 considera o conjunto das instruções destinadas a cada um dos eixos A1 a A6 do braço do robô 4 para gerir a alimentação dos diferentes motores, a programação da central de comando 8 é simplificada.

Quando a célula automatizada 2 realiza o processo que ela automatiza, a central de comando 8 executa um

programa de funcionamento 30 que contém ordens de movimentação que o robô deve executar. Em cada ciclo de comunicação, as instruções de movimentação  $C_{1i}$ , com  $i$  entre 1 e 6, para cada eixo A1 a A6 associado a um controlador de eixo fictício do braço do robô 4 são calculadas por um gerador de trajectória 34 que implementa um modelo geométrico inverso 36, quando as ordens de movimentação do braço do robô 4 exprimem as coordenadas cartesianas de um deslocamento da sua extremidade. De acordo com o protocolo de interface SERCOS III, para cada ciclo de comunicação definido, todas as instruções  $C_{1i}$  de movimentação dos eixos são enviadas sobre o barramento sob a forma de um telegrama de dados mestre  $T_1$  ( $C_{1i}$ ). A placa de comunicação 60 recebe este telegrama. Em seguida, ela envia um pedido de interrupção para a unidade de cálculo 10 que recupera o telegrama, extrai as instruções  $C_{1i}$  de movimentação dos eixos e procede ao seu tratamento.

Durante este tratamento, a unidade de cálculo 10 calcula as ordens de movimentação  $O_{1i}$ , com  $i$  entre 1 e 6, para cada um dos motores M1 a M6 accionados pelos controladores de motores 61 a 66. As ordens de movimentação  $O_{1i}$  para cada um dos motores são calculadas a partir do conjunto de instruções  $C_{1i}$  recebidas a partir da central de comando 8 aplicando o modelo cinemático das transmissões 38. Essas ordens compreendem as posições a atingir pelos motores. O cálculo tem em conta o acoplamento existente entre o eixo A5 e o eixo A6, o movimento do eixo A5 exige a implementação dos motores M5 e M6. O cálculo das ordens de

movimentação  $O_{1i}$  para cada motor tem também em conta as relações de redução entre os motores e os eixos de rotação do robô.

As ordens de movimentação  $O_{1i}$  para cada motor M1 a M6 são transmitidas ao controlador de motores 61 a 66 de cada um dos motores, que se encarregam de determinar e regular a corrente de alimentação das fases do motor.

A posição angular dos veios de cada motor é detectada graças ao codificador 12 colocado sobre o veio de cada motor. Esta informação transmitida a cada controlador do motor, sob forma de sinais  $S_{121}$  a  $S_{126}$ , permite a realimentação ("asservissement") 48 da corrente de alimentação das fases dos motores.

A unidade de cálculo 10 dispõe também, através das suas ligações com os controladores de motores 61 a 66, da posição angular dos veios de cada motor do braço do robô 4 e calcula as posições angulares  $P_i$ , sendo  $i$  um número inteiro entre 1 e 6, das partes móveis em torno dos eixos A1 a A6 do braço do robô 4 pela aplicação de um modelo cinemático inverso das transmissões 40. Devido ao acoplamento dos eixos A5 e A6, as posições angulares dos veios dos motores M5 e M6 intervêm na determinação da posição angular  $P_6$  do eixo A6. A unidade de cálculo 10 pode também, a partir das medições, calcular as velocidades de rotação das partes móveis em torno dos eixos do robô, os torques fornecidos durante estes movimentos, ou qualquer

outra informação relevante.

Assim sendo, e de acordo com o protocolo de comunicação SERCOS III, em cada ciclo de comunicação síncrona, a unidade de cálculo 10 do robô elabora um telegrama de dados  $T'_1$  que contêm as posições angulares  $P_i$  dos eixos do braço do robô 4 e transmite-as à central de comando 8 através da placa de comunicação 60. Estas informações são então exploradas pelo programa 30, que regula o funcionamento da célula automatizada 2. A central de comando 8 pode aplicar um modelo geométrico directo 42 para obter, por exemplo, a posição cartesiana  $P_c$  da extremidade do braço do robô 4 que pode, então, ser exibida no painel de controle 32.

A unidade de cálculo 10 pode calcular a posição cartesiana de, pelo menos, um ponto característico B situado, por exemplo, numa flange de ferramenta 400 na extremidade do braço do robô 4, a partir das posições angulares  $P_i$ , sendo  $i$  um número inteiro entre 1 e 6, as partes móveis em torno dos eixos A1 a A6 do braço do robô 4 e deduzir a velocidade cartesiana  $V(B)$  deste ponto característico. Uma comparação com um limiar predefinido é feita na unidade de cálculo 10. Se o valor da velocidade cartesiana  $V(B)$  deste ponto característico B é maior do que este limiar, a unidade de cálculo 10 emite um comando de paragem de todos os controladores de motor 61 a 66 e envia para a central de comando 8, um telegrama para assinalar o erro.

Em alternativa, a unidade de cálculo 10 calcula a velocidade cartesiana  $V(B)$  do ponto característico a partir das instruções de movimentação  $C_{1i}$ , com  $i$  entre 1 e 6, para cada eixo A1 a A6 associado a um controlador de eixo fictício do braço do robô 4.

O comportamento do braço do robô 4 é substancialmente melhorado se a realimentação ("asservissement") de cada motor tiver em conta uma previsão do torque  $F_i$ , com  $i$  entre 1 e 6, aplicado nas articulações devido à gravidade ou às forças de inércia. Este previsão do torque  $F_i$  é estabelecida para cada motor do braço do robô 4 na unidade de cálculo 10, que implementa um modelo dinâmico 44. O modelo dinâmico baseia-se no conhecimento das instruções de movimentação  $C_{1i}$  de cada eixo que permite avaliar as acelerações requeridas ao nível de cada parte do braço do robô 4. Dada a estrutura do braço do robô 4, a previsão do torque  $F_i$  sobre o veio de cada motor do braço do robô 4 tem de ter em conta as instruções de movimentação  $C_{1i}$  de todos os eixos A1 a A6. Uma vez estabelecida a previsão do torque  $F_i$ , ela é traduzida para num valor nominal de corrente através da aplicação dos dados ou "constantes" 46 dos motores e transmitida aos controladores de motores 61 a 66 para ser incorporada na entrada dos circuitos de controle 50 das correntes de alimentação das fases do motor.

De acordo com uma variante, o cálculo da previsão do torque  $F_i$  a fornecer ao nível de cada articulação pode

também utilizar as posições angulares  $P_i$  dos eixos do braço do robô 4.

A previsão do torque  $F_i$ , com  $i$  entre 1 e 6, aplicada às articulações é tanto mais precisa se tiver em conta as cargas a transportar pelo braço do robô 4. Cada carga é caracterizada por uma massa, a posição do seu centro de gravidade e a sua matriz de inércia, mas também pelo grau de liberdade ao qual se encontra ligada. O programador da central de comando 8 pode declarar as cargas transportadas em relação a cada eixo de comando de movimentação do braço do robô 4. Por exemplo, para uma carga transportada ao nível da flange de ferramenta 400, ele irá declarar uma carga através dos comandos dedicados ao eixo de comando A6. Para uma carga transportada ao nível do antebraço 402, ele irá declarar uma carga através dos comandos dedicados ao eixo de comando A4. Estas declarações da carga transportada podem ser feitas de forma assíncrona, isto é, fora da comunicação cíclica entre a central de comando 8 e a unidade de cálculo 10. Elas também podem ser feitas de forma síncrona, o que permite fazer variar a carga transportada em cada comando enviado pela central de comando 8 e adaptar a manobra do braço do robô 4 a uma sequência de movimentos durante a qual o braço do robô apreenderá e transportará uma carga antes de a libertar e empreender um outro deslocamento.

O processo de acordo com a invenção permite tomar em conta as cargas transportadas ao nível da unidade de

cálculo 10, de modo a simplificar a formação da central de comando 8.

O processo de acordo com a invenção também permite uma melhoria na precisão da trajectória de uma ferramenta, não mostrada, colocada na extremidade do braço do robô 4, ao ter em conta as deformações do braço do robô sob o efeito da carga. Estas deformações podem resultar da flexibilidade dos elementos estruturais tais como os braços ou os elementos de transmissão ou como as correias ou os redutores. A partir das instruções de movimentação de cada eixo, o modelo dinâmico 44 prevê cada torque  $F_i$ , com  $i$  entre 1 e 6, aplicado nas articulações devido à gravidade e às forças de inércia. Estes torques  $F_i$  permitem obter, através da aplicação de uma matriz de flexibilidade própria ao braço do robô 4, os desvios articulares  $\Delta_i$ , com  $i$  entre 1 e 6, devidos às deformações. Os desvios articulares  $\Delta_i$  proporcionam uma compensação às deformações do braço do robô 4, e são então adicionados às instruções de movimentação de cada eixo e, portanto, considerados no cálculo das ordens de movimentação  $O_{1i}$ , com  $i$  entre 1 e 6 para cada um dos motores M1 a M6 accionados pelos controladores de motor 61 a 66.

Estes desvios articulares  $\Delta_i$  são igualmente subtraídos às posições angulares  $P_i$ , sendo  $i$  um inteiro entre 1 e 6, das partes móveis em torno dos eixos A1 a A6 do braço do robô 4, que resultam da aplicação do modelo cinemático inverso de transmissão 40 às posições angulares

dos veios de cada motor do braço do robô 4.

Em alternativa, o cálculo dos desvios articulares  $\Delta_i$  pode ser estabelecido tomando em conta apenas a parte dos torques  $F_i$  correspondente à gravidade, isto é, às forças estáticas.

O processo de acordo com a invenção também tem em conta as possíveis avarias de cada uma das partes do robô 4. A unidade de cálculo 10 do dispositivo de controle 6 do braço do robô 4 supervisiona o funcionamento do conjunto dos controladores de motores 61 a 66. Ela implementa softwares que permitem detectar as avarias ao nível dos controladores de motores 61 a 66, dos motores M1 a M6 ou dos codificadores 12. No caso de ocorrer uma avaria num motor, a unidade de cálculo 10 procede à paragem de todos os outros motores do braço do robô 4 e procede à emissão, com destino à central de comando 8, de um telegrama de dados  $T_2$  no qual não só o eixo cuja rotação é normalmente permitida pelo motor em questão é declarado como estando avariado, mas também todos os eixos do braço do robô 4. Por outras palavras, uma avaria num dos eixos do braço do robô 4 conduz à declaração da impossibilidade de funcionamento do conjunto do braço robô. Esta informação é enviada à central de comando 8.

Na medida em que a central de comando 8 não tem que gerir a configuração das falhas para todos os eixos do robô, a sua programação é simplificada. Isto permite evitar

a comunicação entre cada controlador de motores 61 a 66 e a central de comando 8, o que acelera o processamento das falhas e melhora a segurança do braço do robô 4.

Como descrito acima, a unidade de cálculo 10 assegura um comportamento consistente do braço do robô 4 em caso de falha de um dos eixos A1 a A6. E o mesmo para quando se desliga a alimentação de um dos eixos do braço do robô 4. Cada um dos motores M1 a M6 deve, necessariamente, ser desligado. Além disso, por razões de segurança, o desligar de um motor deve ser precedido pelo aperto dos travões para permitir parar a rotação dos motores. A instrução de desligar o braço do robô 4 proveniente da central de comando 8 é aplicada pela unidade de cálculo 10 a cada um dos controladores dos motores. Uma vez que uma instrução de desligar um dos eixos Ai, sendo i um inteiro entre 1 e 6, do braço do robô 4 é detectada pela unidade de cálculo 10, esta instrução é generalizada a todos os motores M1 a M6 do braço do robô 4. A unidade de cálculo 10 envia, então, para cada controlador de motor 61 a 66 uma ordem  $O'_i$ , com i entre 1 e 6, de desligar os motores M1 a M6. Aquando do corte efectivo da corrente, a unidade de cálculo 10 garante que os veios de cada um dos motores do braço do robô 4 estão bem travados a fim de evitar qualquer acidente. Quando todas as verificações estão efectuadas, a unidade de cálculo 10 emite um telegrama  $T_3$  especificando à central de comando 8 que todos os eixos Ai, sendo i um inteiro entre 1 e 6, do braço do robô 4 foram desligados.

O processo da invenção permite a melhoria da

sincronização dos movimentos geridos pela central de comando 8. Baseia-se num modelo de comunicação cliente-servidor no qual a central de comando 8 é o servidor. O barramento 14 permite um modo de comunicação síncrona. A comunicação entre a central de comando 8 e o dispositivo de controle 6 do braço do robô 4 por meio do barramento 14 faz-se a uma frequência, dita frequência de comunicação, cujo valor é adaptado ao número de dispositivos, tais como os controladores de motores, a comandar.

A unidade de cálculo 10 funciona a uma frequência, dita frequência de controle, cujo valor é maior do que o da frequência de comunicação.

A realimentação ("asservissement") efectuada num controlador dos motores 61 a 66 faz-se a uma frequência, dita frequência de realimentação ("fréquence de asservissement"), cujo valor é maior do que o valor da frequência de controle. São então necessários cálculos de interpolação entre cada transmissão da ordem de movimentação  $O_{1i}$  para os motores da unidade de cálculo 10 para o controlador do motor. Estes cálculos são efectuados em cada controlador dos motores 61 a 66.

O programa de funcionamento da célula de trabalho automatizada 2 implementado pela central de comando 8 gera instruções  $C_{1i}$  e requer o conhecimento das posições angulares  $P_i$  dos eixos do braço do robô 4. Em cada transmissão da instrução  $C_{1i}$ , a central de comando 8

solicita as posições angulares de cada um dos eixos do braço do robô 4. A unidade de cálculo 10 dispõe das posições dos veios de cada motor graças aos codificadores 12. Elas são provenientes dos controladores dos motores 61 a 66 e permitem-lhe calcular as posições angulares  $P_i$  dos eixos do braço do robô 4 aplicando o modelo cinemático inverso das transmissões 40. Estes processamentos e estas transmissões de dados geram atrasos susceptíveis de dessincronizar a unidade de cálculo 10 e a central de comando 8. Para evitar esta dessincronização, a unidade de cálculo 10 data as informações de posição angular proveniente dos controladores dos motores 61 a 66. Cada medição da posição angular do veio do motor detectada pelos codificadores 12 está associada a uma data de medição. Uma vez que a comunicação através do barramento 14 é síncrona, a unidade de cálculo 10 sabe quando deverá emitir os valores da posição angular  $P_i$  dos eixos do braço do robô 4 a pedido da central de comando 8. Eles são, então, corrigidos em função da data da medição, em função do movimento presumido do braço do robô 4 no momento da medição e do intervalo de tempo que separa a data da medição da data de transmissão à central de comando 8. A unidade de cálculo 10 efectua uma sincronização.

Alternativamente, o processo de comando de acordo com a invenção pode implementar um barramento que utiliza um modo de comunicação assíncrono.

Numa outra variante, o processo de acordo com a

invenção pode ser implementado com um barramento CAN (Controller Area Network), que integra uma camada de aplicação CANopen. Também é compatível com os protocolos de comunicação Powerlink e EtherCAT.

De acordo com uma outra variante, os eixos de comando de movimentação do braço do robô 4 são escolhidos como sendo os eixos cartesianos X, Y, Z, e as rotações correspondentes Rx, Ry, Rz, em vez dos eixos A1 a A6 do braço do robô 4. O programador da central de comando 8 exprime, então, os deslocamentos desejados da extremidade do braço do robô 4 segundo 3 direcções X, Y e Z e a orientação da extremidade do braço do robô 4 segundo as rotações Rx, Ry e Rz em torno dos eixos X, Y e Z. Neste caso, a central de comando 8 transmite ao dispositivo de controle 6 do braço do robô 4 as posições cartesianas a atingir. Isto simplifica a programação da central de comando 8, na medida em que não é necessário incluir nela as características específicas do robô comandado. A unidade de cálculo 10 incorpora o modelo geométrico inverso do braço do robô 4 e implementa-o para determinar as instruções de deslocamento com destino aos controladores dos motores 61 a 66. Da mesma forma, a unidade de cálculo 10 incorpora e implementa o modelo geométrico directo que permite calcular, antes de transmitir à central de comando 8, as posições dos eixos de comando de movimentação X, Y, Z, e as rotações correspondentes Rx, Ry, Rz a partir das posições angulares dos veios de cada motor do braço do robô 4.

A invenção não se limita à utilização de um robô com 6 graus de liberdade e pode ser aplicada, por exemplo, a robôs com 7 graus de liberdade. Neste caso, o programador pode escolher vantajosamente como eixos de comando de movimentação os eixos cartesianos X, Y, Z, e as rotações correspondentes Rx, Ry, Rz de deslocamento da extremidade do braço do robô. A unidade de cálculo do dispositivo de controle do braço do robô implementará o modelo geométrico inverso sofisticado para permitir resolver as redundâncias.

A invenção tem sido descrita com um dispositivo de controle do robô 6 que compreende uma placa de comunicação 60, uma unidade de cálculo 10 e os controladores dos motores 61 a 66. A unidade de cálculo 10 é capaz de processar as informações provenientes da central de comando 8 e gerar instruções de deslocamento para os controladores dos motores 61 a 66. Estes controladores dos motores 61 a 66 são funcionalmente equivalentes a controladores de eixo usuais, tais como os controladores de eixo 121 e 122. Eles recebem instruções de posição e asseguram a condução realimentada ("le pilotage asservi") das correntes que alimentam as fases dos actuadores elétricos. No entanto, a invenção também se aplica a uma estrutura que implementa uma unidade de cálculo capaz de gerar valores nominais de corrente com destino às placas de potência não mostradas. Estas placas de potência são capazes de controlar as correntes que circulam nas fases de um ou mais actuadores elétricos. A invenção não está limitada pela estrutura do dispositivo de controle 6 do

braço do robô 4.

De acordo com um modelo de realização da invenção, as ordens para cada um dos motores M1 a M6 accionado por um controlador de motor são determinadas a partir de várias, e não todas, instruções  $C_{1i}$ , sendo  $i$  um número inteiro entre 1 e 6, recebidas da central de comando 8.

Lisboa, 25 de Junho de 2014

**REIVINDICAÇÕES**

1. Processo de comando de uma célula de trabalho (2) automatizada, que compreende:

- pelo menos um braço de robô (4) com, pelo menos, três graus de liberdade manobrados segundo vários eixos de comando (A1-A6; X, Y, Z, Rx, Ry, Rz),
- uma central de comando (8),
- um dispositivo (6) para controlar o braço do robô (4), que inclui vários controladores de motor (61-66) accionando, cada um, o funcionamento de um motor (M1-M6) adaptado para operar pelo menos uma parte do braço do robô (4),
- um barramento (14) de comunicação entre a central de comando (8) e o dispositivo de controle do braço do robô (4),

caracterizado por o referido processo compreender as etapas que consistem em:

- a) associar a cada um dos eixos de comando de movimentação (A1-A6; X, Y, Z, Rx, Ry, Rz) do braço do robô (4) um controlador de eixo fictício que deverá receber instruções e accionar, pelo menos, um motor de acordo com essas instruções;
- b) determinar, na central de comando (8) e para cada um dos eixos de comando de movimentação (A1-

A6; X, Y, Z, Rx, Ry, Rz) do braço do robô (4), instruções (C<sub>1i</sub>) destinadas ao controlador de eixo fictício correspondente a cada um destes eixos;

c) transmitir as instruções (C<sub>1i</sub>) determinadas na etapa b) a uma única unidade de cálculo (10), pertencente ao dispositivo (6) de controle do braço do robô (4).

2. Processo de comando de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo facto de cada eixo de comando de movimentação do braço do robô (4) representar um grau de liberdade (A1-A6) do braço do robô.

3. Processo de comando de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo facto de cada eixo de comando de movimentação do braço do robô (4) corresponder a um eixo cartesiano (X, Y, Z) ou a uma rotação correspondente (Rx, Ry, Rz) de deslocamento da extremidade do braço do robô.

4. Processo de comando de acordo com uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo facto de compreender as etapas adicionais que consistem em:

d) determinar na da unidade de cálculo (10) e a partir de instruções (C<sub>1i</sub>) recebidas da central de comando (8), ordens (O<sub>1i</sub>, O<sub>2i</sub>, O'<sub>i</sub>) para o motor (M1-M6) accionado por cada controlador de motor (61-66);

e) transmitir a cada controlador de motor (61-66) uma ordem ( $O_{1i}$ ,  $O_{2i}$ ,  $O'_{1i}$ ), determinada na etapa d), para o motor (M1-M6) accionado pelo controlador do motor.

5. Processo de comando de acordo com uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo facto de compreender ainda as etapas que consistem em:

f) transmitir a partir de cada controlador de motor (61-66) e com destino à unidade de cálculo (10), a posição do motor (M1-M6) que ele acciona;

g) calcular, na unidade de cálculo (10) e na base do conjunto das posições dos motores, as posições ( $P_i$ ), de cada um dos eixos de comando de movimentação do braço de robô (4);

h) transmitir à central de comando (8) as posições ( $P_i$ ) de cada um dos eixos de comando calculados na etapa g).

6. Processo de comando de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo facto de ainda compreender as etapas adicionais que consistem em:

i) calcular, na unidade de cálculo (10) e com base no conjunto das posições dos motores, a velocidade cartesiana ( $V(B)$ ) de um ponto característico (B);

j) comparar a velocidade cartesiana ( $V(B)$ ), calculada com um valor de limiar;

k) transmitir a partir da unidade de cálculo (10)

e para a central de comando (8) um sinal de alerta se a velocidade cartesiana ( $V(B)$ ) é superior ao valor de limiar.

7. Processo de comando de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo facto de a unidade de cálculo (10) ter em consideração no cálculo da etapa g) as datas de medição das posições dos motores (M1-M6) e a data da transmissão à central de comando (8) das posições ( $P_i$ ) de cada um dos eixos de comando de movimentação do braço do robô (4) para corrigir as posições ( $P_i$ ) dos eixos de comando de movimentação em função do movimento presumido do braço do robô (4).

8. Processo de comando de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo facto de na etapa d) serem calculadas as ordens de movimentação ( $O_{1i}$ ) compreendendo as posições a atingir para cada motor (M1-M6) para respeitar as instruções ( $C_{1i}$ ) emitidas pela central de comando (8).

9. Processo de comando de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo facto de na etapa d), o cálculo das ordens de movimentação ( $O_{1i}$ ) para cada motor (M1-M6) ser acompanhado por uma estimativa ( $F_i$ ) do torque requerido para cada um dos motores, com base nas instruções ( $C_{1i}$ ) emitidas pela central de comando (8).

10. Processo de comando de acordo com a

reivindicação 9, caracterizado pelo facto de as instruções ( $C_{1i}$ ), emitidas pela central de comando (8), conterem informações sobre a carga transportada por, pelo menos, um eixo de comando de movimentação (A1-A6).

11. Processo de comando de acordo com uma das reivindicações 9 e 10, caracterizado pelo facto de as posições a atingir para cada motor (M1-M6) para respeitar as instruções ( $C_{1i}$ ), emitidas pela central de comando (8), incluirem uma compensação ( $\Delta_i$ ) das deformações do braço do robô (4) calculada a partir de, pelo menos, uma parte das previsões do torque ( $F_i$ ).

12. Processo de comando de acordo com uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo facto de compreender uma etapa que consiste em:

1) transmitir à central de comando (8) um sinal ( $T_0$ ,  $T_3$ ) representativo do estado de alimentação do braço do robô (4), no qual o braço do robô (4) é respectivamente declarado como pronto a funcionar ou desligado somente se todos os motores (M1- M6) estão ligados ou desligados e travados.

13. Processo de comando de acordo com uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo facto de compreender uma etapa que consiste em:

m) transmitir a partir da unidade de cálculo (10) e com destino à central de comando (8) um sinal

(T<sub>2</sub>) que representa o estado de funcionamento de todas as partes do braço do robô (4), no qual todas as partes do braço do robô (4) são declaradas como estando em falha se é detectado que, pelo menos, uma destas partes não funciona.

14. Processo de comando de acordo com uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo facto de o barramento (14) suportar um modo de comunicação síncrona.

15. Processo de comando de acordo com uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo facto de o barramento (14) funcionar segundo um modelo de interface do tipo SERCOS.

16. Processo de comando de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo facto de a central de comando (8) comunicar com os controladores de eixos fictícios associados aos eixos de movimentação do braço do robô (4) utilizando os comandos do perfil de hardware "Profile drive".

Lisboa, 25 de Junho de 2014

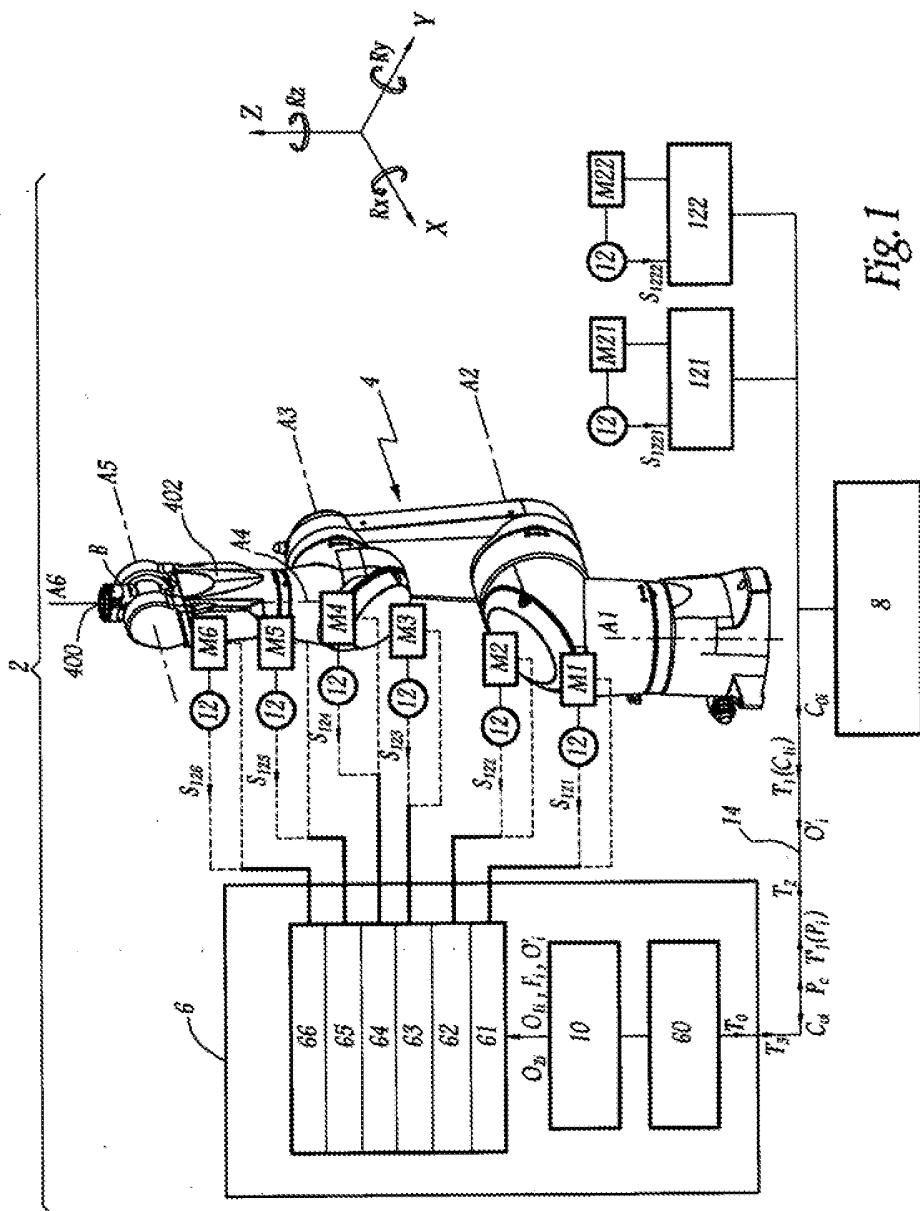


Fig. 1

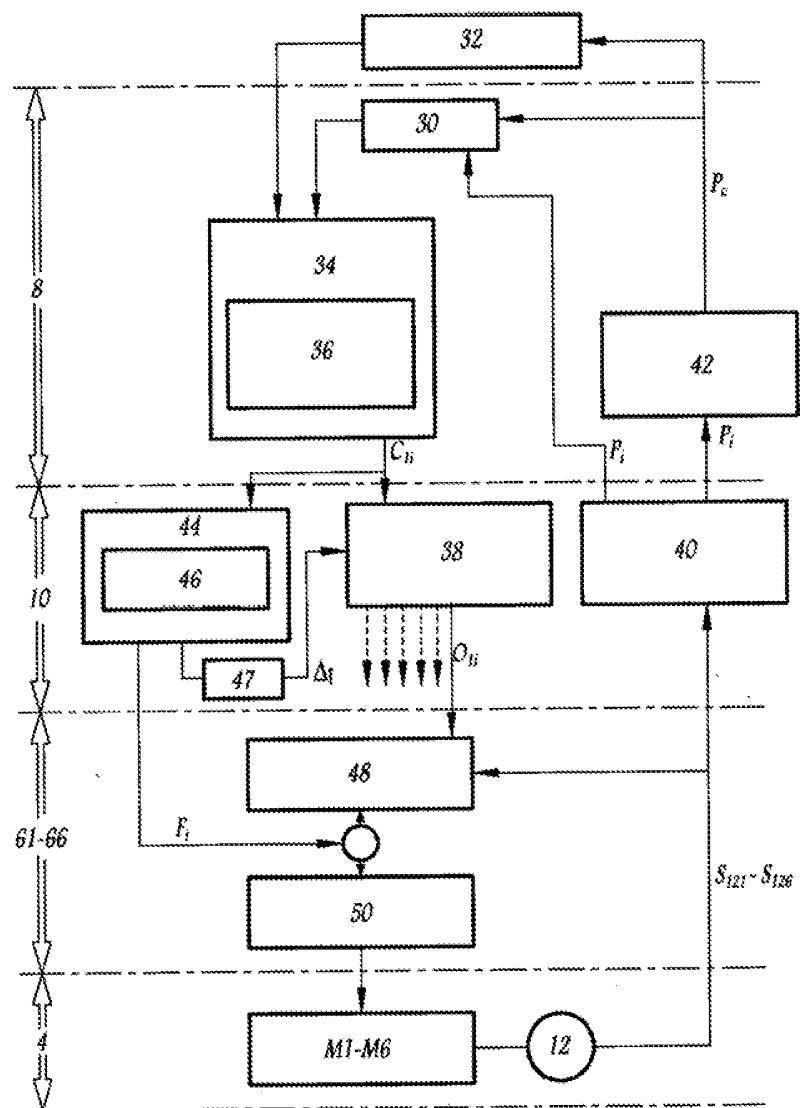


Fig.2

**REFERÊNCIAS CITADAS NA DESCRIÇÃO**

*Esta lista de referências citadas pelo requerente é apenas para conveniência do leitor. A mesma não faz parte do documento da patente Europeia. Ainda que tenha sido tomado o devido cuidado ao compilar as referências, podem não estar excluídos erros ou omissões e o IEP declina quaisquer responsabilidades a esse respeito.*

**Documentos de patentes citadas na descrição**

- WO 2006062948 A