

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

(22) Data de pedido: 2005.07.22	(73) Titular(es): 3SHAPE A/S HOLMENS KANAL 7,4.SAL 1060 COPENHAGEN DK
(30) Prioridade(s): 2004.07.23 DK 200401143	
(43) Data de publicação do pedido: 2007.04.18	
(45) Data e BPI da concessão: 2009.04.29 130/2009	(72) Inventor(es): RUNE FISKER DK TAIS CLAUSEN DK NIKOLAJ DEICHMANN DK HENRIK ØJELUND DK
	(74) Mandatário: MARIA SILVINA VIEIRA PEREIRA FERREIRA RUA CASTILHO, N.º 50, 5º - ANDAR 1269-163 LISBOA PT

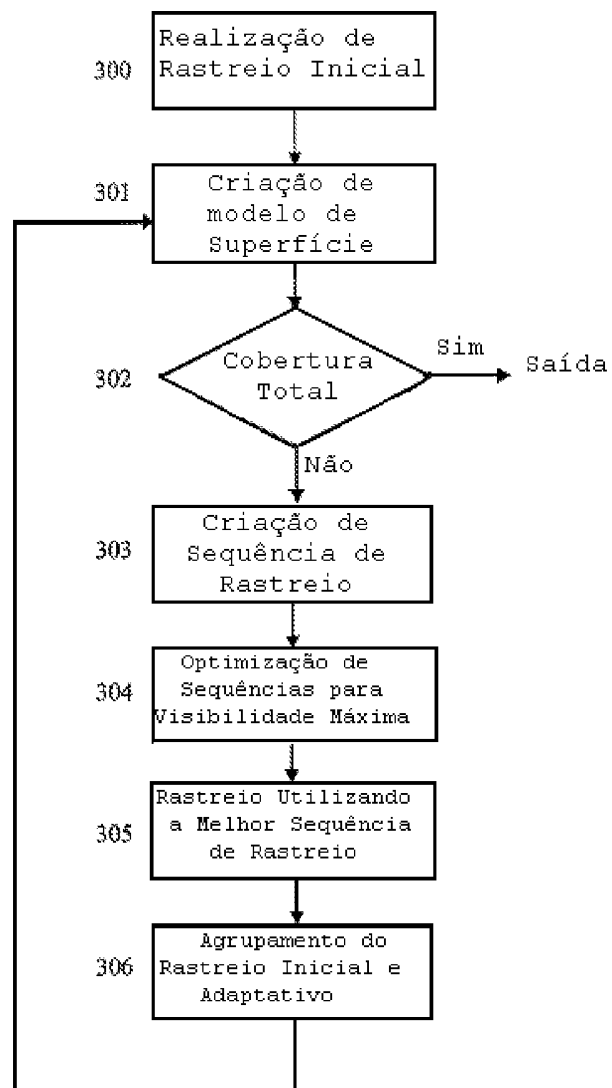
(54) Epígrafe: **DIGITALIZAÇÃO 3D ADAPTATIVA**

(57) Resumo:

RESUMO

"DIGITALIZAÇÃO 3D ADAPTATIVA"

A presente invenção é destinada a uma digitalização 3D adaptativa, em que a sequência de digitalização para obtenção da cobertura geométrica total de um objecto físico é criada automaticamente e especificamente para o objecto físico, através da utilização de um método e de um sistema para produção de um modelo de computador 3D de um objecto físico, em que o referido método inclui as seguintes etapas fornecimento de um sistema de digitalização, em que o referido sistema de digitalização inclui um digitalizador e um computador ligado e/ou integrado no digitalizador referido, em que o referido computador inclui um modelo virtual do digitalizador referido, introdução no computador da informação da forma do objecto físico, criação no computador referido de uma função de visibilidade baseada no referido modelo virtual e na informação da forma, em que a referida função de visibilidade é capaz de avaliar a cobertura das áreas de interesse do objecto físico em pelo menos uma sequência de digitalização predeterminada, estabelecimento de pelo menos uma sequência de digitalização baseada na avaliação da função de visibilidade, execução de uma digitalização do objecto físico utilizando pelo menos uma referida sequência de digitalização, e obtenção de um modelo de computador 3D do objecto físico.



DESCRIÇÃO
"DIGITALIZAÇÃO 3D ADAPTATIVA"

A presente invenção é destinada à produção de modelos de computador 3D de um objecto físico.

ANTECEDENTES

Os sistemas de digitalização 3D de luz estruturada basicamente funcionam da mesma forma que foi descrita nas técnicas anteriores. Basicamente funcionam como descrito na Figura 1, em que um padrão de luz monocromático ou multi espectral 101, tal como pontos de laser, linhas de laser, faixas brancas ou coloridas, é projectado a partir de uma fonte de luz 102 para o objecto 103. A luz projectada é então reflectida 104 e uma ou mais câmara 105 adquire (m) imagens da projecção. O padrão de luz é detectado na imagem e para derivar as coordenadas 3D é usada a geometria da projecção bem estabelecida tal como a triangulação ou o estéreo, por exemplo, uma linha laser é projectada no objecto dando forma a uma linha. As coordenadas 3D são então reconstruídas ao longo dessa linha particular. O digitalizador pode conter uma ou mais fontes/padrões de luz e uma ou mais câmaras.

A etapa seguinte é então mover o objecto e o digitalizador em relação um ao outro, por exemplo, por rotação 106 ou por movimentação linear 107 do objecto 103. Desta forma o digitalizador pode reconstruir a superfície de uma parte nova do objecto, por exemplo, uma nova linha na superfície no exemplo da linha de laser. Os digitalizadores da técnica anterior têm o movimento programado manualmente numa sequência de digitalização predefinida ou o

objecto/digitalizador é simplesmente movido manualmente à volta.

Um problema herdado com o digitalizador 3D de luz estruturada é que tanto a câmara como o padrão de luz necessitam de “ver” cada ponto de superfície ao mesmo tempo para serem capazes de fazer uma reconstrução 3D desse ponto em particular. Isto conduz às áreas “ocultas” ou descobertas que aparecem como aberturas na superfície na digitalização final, isto é, áreas sem informação de medidas da superfície. Na maioria dos casos as aberturas na digitalização são indesejáveis ou inaceitáveis tanto do ponto de vista visual como do da aplicação.

O problema é ilustrado na Figura 2, onde é mostrada a nuvem de pontos 2a da digitalização inicial de um urso de brinquedo. A digitalização inicial é executada por uma sequência predefinida de digitalização de duas digitalizações de rotação. Quando o modelo de superfície 2b é criado as áreas descobertas aparecem como aberturas por exemplo, 204. É então utilizada a digitalização adaptativa para fazer uma sequência de digitalização que digitalize as aberturas numa digitalização adicional. De facto já foram digitalizadas de forma adaptativa duas aberturas 205 e cobertas por novos pontos. Depois da primeira digitalização adaptativa ainda está presente no modelo de superfície 2c uma abertura única 206 do resultado da combinação da digitalização inicial e adaptativa. É então executado uma segunda digitalização adaptativa e é obtida a cobertura total 2d.

Na técnica anterior tenta-se resolver o problema da ocultação pela definição de forma manual de sequências

complexas de digitalização e de consternamentos da forma como o objecto é posicionado no digitalizador. No entanto são necessárias pinças e consumo de tempo para a digitalização de sequências para abranger formas simples ou objectos com variação de forma moderada. No caso de objectos com formas variáveis ainda assim isto não garante a cobertura total. Um outro problema é que a criação das sequências de digitalização pode ser muito incómoda e requer o conhecimento de um perito.

Para correcção do problema com áreas descobertas alguns digitalizadores comerciais fecham artificialmente as aberturas da digitalização utilizando a informação da superfície em torno da abertura. O encerramento artificial da abertura pode ser executado através do ajuste da superfície paramétrica tal como a superfície estriada ou superfícies de segunda ordem. O encerramento artificial da abertura pode conferir resultados visualmente agradáveis, mas a exactidão é muito baixa, o que é inaceitável para a maioria das aplicações.

No documento "Mistura de Imagens para Modelos de Textura 3D" ("Blending Images for Texturing 3D Models"), Adam Baumberg, Procedimentos da 13a Conferência Britânica de Máquinas de Visão, 5 Setembro 2002, pp. 404-313, Universidade de Cardiff é divulgado um sistema e um método para construção de mapas de textura sem descontinuidade para uma superfície de topologia arbitrária de imagens reais do objecto tiradas com uma câmara digital comum e uma luz não controlada.

No documento "Um Sistema de digitalização 3D Baseado na Aproximação da Baixa Ocultação " (A 3D Scanning System

Based on Low-Occlusion Approach), Bor-Tow Chen; Wen-Shiou Lou; Chia-Chen Chen; Hsien-Chang Lin, Procedimentos de Modelação e Imagem Digital 3-D, 2. Int. Conf., 8. Outubro. 1999, pp. 506-515, é divulgado um algoritmo de forma a otimizar as camadas digitalizadas e minimizar a quantidade de dados para diminuir eficazmente a quantidade de camadas digitalizadas e para adquirir os melhor dados visuais num digitalizador 3D de 2 eixos baseado no critério de melhor posição proposto.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A presente invenção é destinada à digitalização adaptativa 3D em que é criada automaticamente uma sequência de digitalização, especificamente para o objecto físico, para obter a cobertura geométrica total.

Dessa forma, a presente invenção é destinada a um método e a um sistema para produção de um modelo de computador 3D de um objecto físico, em que o método inclui as seguintes etapas:

a) fornecimento de um sistema de digitalização, em que o referido sistema de digitalização inclui

i. um digitalizador, e
ii. um computador ligado e/ou integrado no referido digitalizador, em que o computador referido inclui um modelo virtual do referido digitalizador,

b) introdução no computador da informação da forma do objecto físico,

c) criação no computador referido de uma função de visibilidade baseada no referido modelo virtual e na informação da forma, em que a referida função de visibilidade é capaz de avaliar a cobertura das áreas de interesse do objecto físico pelo menos por uma sequência de digitalização predeterminada,

d) estabelecimento de pelo menos uma sequência de digitalização baseada na avaliação da função de visibilidade,

e) execução de uma digitalização do objecto físico referido utilizando pelo menos uma sequência de digitalização,

f) repetição opcional dos passos d) e e) pelo menos uma vez,

g) obtenção de um modelo de computador 3D do objecto físico.

Num outro aspecto a invenção é destinada a um sistema de processamento de dados para produção de um modelo de computador 3D de um objecto físico, incluindo um dispositivo de entrada, uma unidade central de processamento, uma memória, e um visualizador, em que o referido sistema de processamento de dados armazenou nele próprio dados representativos das instruções de sequências que quando executadas levam a que o método conforme definido acima seja executado.

Ainda num outro aspecto a invenção é destinada a um produto de software de computador que contém sequências de

instruções que quando executadas levam a que o método conforme definido acima seja executado.

Num quarto aspecto a invenção é destinada a um produto de circuito integrado que contém sequências de instruções que quando executadas levam a que o método conforme definido acima seja executado.

DESENHOS

A Figura 1 mostra um desenho esquemático de um sistema de digitalização 3D

A Figura 2 a-d mostra um exemplo de um objecto físico a ser digitalizado

A Figura 3 mostra um fluxograma para uma digitalização de áreas descobertas

A Figura 4 mostra um fluxograma para a criação automática da digitalização inicial

A Figura 5 mostra um modelo de computador 3D de uma impressão dentária

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

A invenção é destinada ao campo da digitalização 3D de objectos físicos, isto é, à criação de modelos computacionais 3D que em detalhes se assemelham à geometria dos objectos físicos e opcionalmente à textura, e às características de superfície e de materiais. A invenção será descrita para os digitalizadores ópticos 3D de luz estruturada, mas pode ser aplicada a muitos outros tipos de digitalizadores 3D, tais como digitalizadores à prova de

toque, digitalizadores de escala laser, RM, MRI, TAC, raios X, ultra-sons, câmaras de escala, sensores de tempo de voo ou digitalizadores ópticos baseados em silhuetas, cobertura e movimento, forma de sombras, forma da textura ou modulação da cor.

Uma sequência de digitalização define a digitalização real incluindo os movimentos, as câmaras activas, as fontes de luzes activas, os padrões de luzes activos e outras configurações relevantes. Uma sequência de digitalização pode ser qualquer coisa desde uma única digitalização sem movimento até uma digitalização com longas e complexas sequências de movimento.

Por uma questão de simplicidade, o movimento do objecto é apenas mencionado no texto seguinte. No entanto deve ser interpretado como movimento relativo onde é movido pelo menos um componente do sistema e/ou do objecto, tal como quando é movido o objecto ou o digitalizador. Isto também inclui o movimento do padrão de luz e o campo de visão da câmara que de preferência usam espelhos ou prismas mesmo que o digitalizador não seja fisicamente movido.

Os sistemas de digitalização 3D de luz estruturada que incluem um digitalizador e um computador ligado e/ou integrado no digitalizador. De preferência o digitalizador contém uma ou mais fontes de luz 102, uma ou mais câmaras 105 e um sistema de movimento 106-107, o qual é capaz de mover o objecto em relação à câmara e à fonte de luz. De notar que o sistema de movimento não está necessariamente limitado a uma única rotação 106 nem a um único movimento linear 107 conforme mostrado na Figura 1, mas de preferência pode ser um sistema de múltiplos eixos com

muitos graus de liberdade tais como uma máquina de CNC ou um robô. A câmara, a fonte de luz e o sistema de movimento estão todos ligados 108 a um computador 109, que comunica e controla cada componente. O computador pode ser uma unidade separada ou estar integrado no digitalizador.

A invenção é a digitalização 3D adaptável onde as sequências de digitalização para obtenção da cobertura geométrica total são automaticamente criadas. Noutras formas de realização da invenção são automaticamente criados ficheiros de sequência para a melhor digitalização da textura, dos parâmetros dos materiais da superfície, das superfícies brilhantes e de outras características relevantes. De notar que a cobertura deve ser totalmente interpretada em relação à digitalização destas características.

A informação da forma da etapa b) pode ser qualquer informação da forma do objecto físico. Pode ser uma informação directa da forma, tal como a informação da forma que pode por exemplo, ser originária de uma ou mais digitalizações iniciais.

Alternativamente ou adicionalmente, a informação da forma pode ser indirecta, tal como a informação no formulário do molde da forma, formas simplificadas ou aproximadas tais como caixas e cilindros ou combinações dessas, modelos médias, modelos de CAD ou ser derivado de uma ou mais imagens 2D. De notar que a informação da forma não necessita de ser informação 3D, mas também pode ser 1D, 2D, 4D ou 5D. A informação da forma pode ser originária a partir de outros digitalizadores além dos digitalizadores de luz estruturada de preferência digitalizadores à prova

de toque, RM, RMI, TAC, raios X ou ultra-sons. A informação de formas diferentes pode também ser combinada, por exemplo, pelo registo do resultado de uma digitalização inicial com outra informação da forma de preferência de um modelo de CAD, de um molde ou de uma forma média. Numa forma de realização a informação da forma é a combinação da informação directa da forma e da informação indirecta da forma.

Numa forma de realização a informação da forma do objecto físico é uma nuvem de pontos, tal como a informação da forma do objecto físico é obtida por ajuste de uma superfície numa nuvem de pontos. O ajuste pode ser efectuado por qualquer método apropriado, tal como efectuado como triangulação.

A informação da forma é de preferência alinhada ao objecto físico, tal como quando a informação da forma e o objecto são alinhados por uma fixação do objecto no digitalizador. Numa outra forma de realização a informação da forma e o objecto são alinhados por uma digitalização inicial a qual é alinhada com a informação da forma.

A digitalização 3D adaptável facilita a possibilidade de se efectuar uma digitalização de objectos arbitrários efectivamente com um só botão, isto é, o utilizador apenas insere um objecto qualquer no digitalizador e pressiona um único botão. A digitalização é então completamente executada de forma automática da melhor forma e tem como resultado uma total digitalização da cobertura. Não é necessário conhecimento técnico para a criação de sequências de digitalização complexas, ajuste de parâmetros de digitalização ou para a combinação/junção de diferentes

digitalizações. Nenhum digitalizador da técnica anterior está perto de conseguir este objectivo. A Figura 3 mostra uma forma de realização da invenção onde a aquisição da forma é executada por uma digitalização inicial 300 usando de preferência combinações de digitalizações lineares, digitalizações rotativas ou movimentos simultâneos de diversos eixos. Por uma digitalização linear é entendido um movimento linear relativo do objecto ou um varrimento linear do padrão de luz sobre o objecto. A digitalização resultante é então analisada para áreas descobertas e estas áreas de interesse são automaticamente novamente digitalizadas usando a melhor combinação dos movimentos, padrões de luzes, fontes de luz e de câmaras. A nova digitalização adaptativa pode então ser combinada com o resultado da digitalização inicial de forma a dar forma a uma digitalização da cobertura total.

Pelo termo "cobertura total" é entendido o grau de cobertura definido em relação ao modelo de computador 3D específico. Assim, pode-se aceitar que nem todas as aberturas ocultas estão cobertas se as aberturas forem de um tamanho ou numa localização de menor interesse. Também pode ser relevante predeterminar que o tempo para a digitalização é o factor limitador, de modo que a "cobertura total" é obtida quando a digitalização está a ser executada por um período de tempo predeterminado. De acordo, o critério para interromper a cobertura total pode ser diferente do da cobertura absoluta de todas as aberturas, o critério para interromper pode ser ignorar as aberturas abaixo de um determinado ponto inicial, apenas ser permitido um determinado número de iterações, o tempo máximo de digitalização ou apenas ser necessária uma certa cobertura global.

A primeira etapa na digitalização adaptável pode ser determinar quais as áreas que não são correctamente cobertas na digitalização inicial. De preferência isto é feito através da criação do modelo de superfície 301 por exemplo por triangulação da nuvem de pontos ou por ajuste de superfícies paramétricas tais como superfícies estriadas. Se for suposto criar os modelos de superfície no processo seguinte à digitalização é vantajoso aplicar o mesmo algoritmo de criação da superfície. Quando o modelo de superfície está presente a cobertura total pode ser directamente avaliada 302, porque as áreas descobertas correspondem às aberturas na superfície. As áreas descobertas podem também ser determinadas directamente a partir da nuvem de pontos, dos dados voxel ou de outros dados em bruto. Dependendo da aplicação algumas aberturas tais como o fundo do objecto podem ser ignoradas. Os critérios para interromper a cobertura total 302 podem ser modificados de forma a expressar outras prioridades conforme descrito acima.

A determinação adaptável da combinação dos movimentos, dos padrões de luz, das fontes de luz e das câmaras assegura a melhor cobertura de cada área de interesse é a etapa crucial da digitalização adaptável. É de recordar que a área de interesse nesta forma de realização corresponde às áreas descobertas. A primeira etapa é a de construir a função de visibilidade, isto é, a avaliação da área descoberta pode ser efectuada através da informação da forma dada e de uma configuração específica da câmara, da fonte / padrão de luz e do movimento do objecto. De forma a ser capaz de fazer a avaliação da visibilidade é criado um modelo virtual do digitalizador que replica o digitalizador físico incluindo de preferência o modelo da câmara e os

parâmetros, modelos e parâmetros de fontes/padrões de luz, modelos e parâmetros de movimento, valores de movimento e outros parâmetros relevantes. O modelo da câmara pode por exemplo ser um modelo projectivo padrão com parâmetros tais como a posição e a orientação da câmara. Muitos parâmetros no digitalizador virtual são específicos do digitalizador e são obtidos através de um procedimento de calibração. De preferência estes parâmetros devem ser incluídos no modelo do digitalizador virtual.

O modelo virtual do digitalizador, isto é, o modelo do digitalizador virtual, faz parte da base para criação da função de visibilidade. A função do digitalizador virtual pode ser criada em relação a cada produção de um modelo de computador 3D, ou pode ser criada uma vez no sistema de digitalização e apenas recriada se forem feitas mudanças no sistema de digitalização. O modelo do digitalizador virtual pode ser criado antes, depois ou em simultâneo com a introdução da informação da forma do objecto físico no computador, no entanto é preferível que o modelo do digitalizador virtual seja criado antes da introdução da informação da forma.

O modelo do digitalizador virtual é então utilizado para avaliar a visibilidade de uma informação da posição e orientação de uma dada área descoberta do objecto, o ajuste da câmara, os ajustes da fonte/padrão de luz e outras características relevantes. Ao avaliar a visibilidade pode ser vantajoso avaliar a visibilidade num número de amostra de pontos/células/exemplos de fissuras na área descoberta. No caso de falta de informação da forma os pontos da amostra podem ser aproximados por exemplo por interpolação ou por ajuste da superfície. A visibilidade de cada ponto

da amostra pode ser calculada a partir do grau do ponto de visibilidade em simultâneo tanto para o padrão/fonte de luz como para a câmara. Para muitas configurações do digitalizador o objecto necessita de ser movido enquanto se faz a digitalização de uma área descoberta. Este movimento tem de ser tido em conta durante a avaliação da visibilidade.

A melhor sequência de movimentos, de padrões de luz, de fontes de luz e de câmaras para fazer a digitalização de uma área descoberta é então encontrada como a sequência que maximiza a visibilidade. Numa forma de realização é estabelecida pelo menos uma sequência de digitalização da etapa d) ao simular a cobertura do objecto físico de pelo menos duas sequências de digitalização, e seleccionando a sequência de digitalização que tem uma melhor cobertura.

De preferência a sequência de digitalização estabelecida na etapa d) é estabelecida para obter a cobertura das aberturas ocultas na informação da forma do objecto físico.

De preferência a melhor sequência é encontrada pela criação de uma ou mais sequências de digitalização 303 que são então optimizadas. A optimização da função de visibilidade 304 pode ser efectuada em relação a qualquer parâmetro livre no modelo do digitalizador virtual, embora possa ser vantajosa a limitação da optimização dos parâmetros de movimento e diferentes combinações da câmara e da fonte de luz. A optimização real pode ser executada por um algoritmo padrão de optimização tal como a descida abrupta, gradientes conjugados, Levenberg-Marquardt, métodos de Newton ou Quasi-Newton, BFGS, recozimento simulado ou algoritmos genéricos. Podem ser adicionados condicionantes

nos parâmetros tais como limites físicos do eixo como condicionantes duros ou condicionantes macios.

Podem também ser integrados factores adicionais na função de visibilidade tais que o valor da função reflecta outras prioridades do que apenas a visibilidade. Mesmo que a função de visibilidade contenha mais factores do que a visibilidade pura a função continuará a ser denominada por visibilidade. Os factores adicionais podem ser o tempo de digitalização, a visibilidade para diversas câmaras, a supressão da reflexão, a superfície normal ao ângulo da câmara/fonte de luz ou visibilidade textural. Pode também ser vantajoso separar áreas descobertas em superfícies de elevada curvatura de forma a melhorar a visibilidade ou combinar a digitalização de áreas vizinhas de forma a conseguir tempos de digitalização mais baixos.

Assim, numa forma de realização a sequência de digitalização é estabelecida ao otimizar o digitalizador para o melhor ângulo da superfície à câmara e/ou ao ângulo do laser. Numa outra forma de realização a sequência de digitalização é estabelecida por optimização da velocidade da sequência de digitalização. Numa terceira forma de realização a sequência de digitalização estabelecida é optimizada para reflexões mínimas do objecto físico, e numa quarta forma de realização a sequência de digitalização estabelecida é optimizada para a visibilidade para mais do que uma câmara. Numas formas de realização adicionais a sequência de digitalização estabelecida é optimizada para dois ou mais dos factores acima mencionados. Desse modo, uma sequência de digitalização pode ser criada movendo pelo menos um dos componentes do digitalizador em relação a pelo menos um dos outros componentes.

A melhor sequência de digitalização é, então seleccionada como aquela que tem a máxima visibilidade. Se várias sequências conseguirem a visibilidade total, os factores adicionais também podem ser usados para seleccionar a melhor configuração. É executada uma digitalização usando a melhor sequência de digitalização 305 e o resultado é combinado com as digitalizações 305 executadas anteriormente. O modelo de superfície pode então ser criado para as digitalizações combinadas 301 e a digitalização resultante pode ser verificada para ver se há cobertura total 302. Se não se obtiver a cobertura total na digitalização combinada então pode ser executada uma segunda digitalização adaptativa. Para formas complexas podem ser requeridas diversas sequências de digitalização adaptativa de forma a obter a cobertura total, porque as áreas descobertas podem conter formas que escondam outras partes da área descoberta.

A cobertura das áreas do objecto físico pode ser avaliada por qualquer método apropriado. Numa forma de realização a cobertura das áreas do objecto físico é avaliada avaliando a percentagem de área de aberturas quando comparada com a área estimada do objecto físico. Numa outra forma de realização a cobertura das áreas do objecto físico é avaliada avaliando o tamanho das aberturas. Ainda numa outra forma de realização as etapas d) e e) são repetidas até que a cobertura do objecto físico esteja acima de um valor predeterminado. A combinação dos diferentes métodos de determinação da cobertura pode também ser previsto pela invenção, por exemplo por avaliar primeiro o tamanho das aberturas e avaliar em segundo a percentagem da área das aberturas.

O sistema de digitalização de acordo com a invenção pode ser qualquer sistema de digitalização apropriado, exemplos desses são mencionados abaixo. Em princípio o sistema de digitalização de acordo com a invenção inclui os seguintes componentes: pelo menos uma fonte de luz, pelo menos uma câmara, e pelo menos um suporte para suportar o objecto físico.

É preferido que pelo menos um dos seguintes componentes: a fonte de luz, a câmara e o suporte sejam móveis em relação a um dos outros componentes, e a presente invenção abrange sistemas em que dois ou mais dos componentes são móveis em relação a pelo menos um dos outros componentes. Dessa forma, os exemplos da invenção incluem sistemas em que o suporte pode ser móvel em relação à fonte de luz, e/ou o suporte pode ser móvel em relação à câmara, de preferência o suporte para suportar o objecto físico é capaz de conduzir pelo menos um dos seguintes movimentos: um movimento linear, um movimento rotacional, ou uma combinação desses.

O sistema de digitalização de acordo com a invenção pode incluir mais componentes, tais como um sistema de digitalização que inclui pelo menos duas fontes de luz, e/ou um sistema de digitalização que inclui pelo menos duas câmaras.

Para o digitalizador mostrado na Figura 1 o modelo do digitalizador virtual mais simples irá conter um modelo de câmara, um modelo de luz e modelos para a rotação e para o movimento linear. Para completar o modelo do digitalizador virtual são introduzidos valores calibrados para todos os parâmetros do modelo do digitalizador tais como a posição

da câmara para um digitalizador específico. Dada a informação da forma a função de visibilidade pode ser agora avaliada. Os únicos parâmetros livres no digitalizador são a rotação e o movimento linear. Pode ser usada qualquer combinação da rotação e do movimento linear para fazer a digitalização das aberturas na digitalização inicial. De qualquer modo usar a rotação para girar a abertura para a visibilidade máxima e o movimento linear para efectivamente analisar a área é uma configuração simples e poderosa. Na prática isto limita o parâmetro livre para a rotação porque o movimento linear pode ser derivado do ângulo de rotação e do tamanho da abertura. Dada uma sequência de digitalização 303 com uma suposição inicial do ângulo de rotação a melhor sequência de digitalização pode ser encontrada pela optimização da função de visibilidade $f(\dots)$ 304 em relação ao ângulo de rotação θ :

$\text{Máx}_{\theta} f(\theta | \text{informação da forma, modelo do digitalizador virtual})$

A saída da optimização, $\theta_{\text{máx}}$, e o correspondente ficheiro da sequência assegura a visibilidade máxima. A optimização actual pode ser executada utilizando um dos algoritmos optimizados anteriormente mencionados, por exemplo, uma descida abrupta que usa de preferência a avaliação do gradiente numérico com um tamanho abrupto, $\Delta\theta$, em 1 grau. A etapa seguinte é então fazer a digitalização usando o melhor ficheiro de sequência 305. A digitalização resultante é então combinada com as digitalizações precedentes 306 e a superfície é criada 301 e verificada para ver se há cobertura total 302. Se ainda não for obtida a cobertura total pode ser executada uma nova iteração. Como discutido noutra parte do documento, o termo

“cobertura total” significa a cobertura total em relação ao modelo de computador 3D específico, e não significa necessariamente que todas as partes do objecto físico estão cobertas.

A Figura 4 mostra uma outra forma de realização da invenção onde o modelo do digitalizador virtual e a função de visibilidade são usados para criar a primeira digitalização 300 baseada na informação indirecta da forma não analisada directamente a partir do objecto. De preferência a informação indirecta da forma é obtida de um modelo do CAD 400, de uma média ou de um modelo do molde. Neste caso a área de interesse corresponde a todo o modelo.

São criadas uma ou mais sequências de digitalização 401 na mesma estrutura do digitalizador virtual que na forma de realização anterior e os parâmetros livres são optimizados 402 em relação à função de visibilidade. Dependendo da aplicação real podem ser adicionados factores adicionais à função de visibilidade tais como o número de sub-digitalizações, a visibilidade para as sub-digitalizações e o tempo de digitalização. A melhor sequência de digitalização é então usada para a digitalização inicial do objecto 403.

É necessário conhecer as posições absolutas do objecto para se executar uma digitalização bem sucedida. De preferência a posição é obtida a partir de uma fixação do objecto no digitalizador ou mais flexivelmente pela passagem de uma digitalização predefinida rápida, que é então registada/alinhada com o modelo da forma. Se isto for requerido pode ser então seguido por uma segunda digitalização 301-305 para encerrar possíveis aberturas.

Uma forma simples para acelerar a digitalização é deixar o utilizador seleccionar a área de interesse em alguma representação do objecto. Se a informação da forma for conhecida antes de se fazer a digitalização a representação é de preferência um modelo do CAD, um modelo do molde ou um modelo médio de outra maneira a representação pode ser o resultado de uma digitalização rápida ou ainda mais rápida apenas a captação pelas câmaras de uma imagem 2D. De notar que uma selecção numa imagem 2D criada directamente pelo digitalizador pode ser transformada numa selecção 3D pela utilização do modelo do digitalizador virtual. Esta área de interesse seleccionada pelo utilizador é então directamente utilizada para determinar a melhor sequência de digitalização.

Uma outra forma de realização da invenção pode ser aplicada aos digitalizadores que capturam a textura do objecto onde as modificações da função de visibilidade podem assegurar a cobertura total de toda a textura sobre o objecto. A geometria do objecto tanto pode ser originada a partir de uma digitalização como a partir de um modelo obtido indirectamente. A principal diferença para a digitalização da geometria total é a formulação da função de visibilidade que pode incorporar agora características da textura tais como a visibilidade da textura e superfície normal ao ângulo da câmara. A função de visibilidade tanto pode ser formulada para incorporar simultaneamente ou separadamente a geometria e a captação da textura depende da estratégia da digitalização.

Numa forma idêntica a invenção também pode ser aplicada para a captação de relâmpagos, tonalidades - e de

parâmetros materiais usados principalmente para a interpretação de imagens de aparência visual dos objectos realísticos. Isto é implementado através da extensão da formulação da função de visibilidade para incorporar iluminação e factores de avaliação dos parâmetros do material. Existem muitos modelos de iluminação e de materiais como as tonalidades de Phong, tonalidades de Gouraud ou modelos de BRDF. No entanto a função de visibilidade deve ser em general aplicável a todos os modelos e algoritmos de avaliação diferentes.

O modelo de computador 3D do objecto físico pode ser baseado num dos resultados obtidos pela digitalização na etapa e), ou o modelo de computador 3D do objecto físico pode ser obtido combinando a informação a partir de qualquer outra informação do objecto e pelo menos um dos resultados da digitalização executada na etapa e), tal como uma combinação com a informação da forma e os resultados da digitalização.

O modelo de computador 3D do objecto físico pode também ser obtido combinando a informação de pelo menos duas sequências de digitalização executadas na etapa e), e por opção combinando a informação de pelo menos duas digitalizações com qualquer outra informação, tal como a informação da forma.

Apesar de a invenção ter sido descrita em relação aos digitalizadores de luz estruturada deve ser claro para o leitor entendido na matéria que a invenção pode ser aplicada para executar digitalizações adaptativas para outros tipos de digitalizadores, tais como os digitalizadores de superfície. Assim, a invenção pode

também ser levada a cabo utilizando por exemplo, digitalizadores à prova de toque, digitalizadores de escala de laser, MR, MRI, TAC, raios X, ultra-sons, câmaras de escala, sensores de tempo de voo ou digitalizadores ópticos baseados em silhuetas, cobertura e movimento, forma de sombras, forma da textura ou fechar à modulação da cor. A principal diferença é a diferente formulação dos modelos de digitalizador virtuais e da função de visibilidade.

A presente invenção pode ser usada para a produção de modelos de computador 3D de qualquer objecto físico, e assim a digitalização adaptável é relevante na maioria das aplicações da digitalização 3D. Os objectos físicos podem ter uma superfície regular ou irregular, e a invenção é particularmente relevante para a produção de modelos de computador 3D dos objectos físicos que têm uma superfície irregular. Os exemplos das aplicações são digitalizações de impressões dentárias, moldes e lotes dentais, formas, jóias, arte, artefactos culturais e históricos, peças fabricadas manualmente para digitalizações de qualidade e fabrico de moldes, impressões da orelha, metrologia, engenharia reversa, criação fácil de modelos 3D realísticos para as páginas da internet, jogos de computador e animação de filmes, de desenhos animados e de anúncios.

A digitalização óptica de impressões anatómicas ou dentárias arbitrárias é uma aplicação que é impossível de executar sem a digitalização adaptável. As impressões dentárias são impressões negativas dos dentes e são geralmente feitas por algum tipo de material de silicone. Devido à forma dos dentes e à sua variação biológica o alcance da cobertura total é muito desafiante, pois fazer a digitalização numa impressão de um dente arbitrário requer

posições de visão e movimentos muito exactos. Quando a digitalização é usada para a restauração dentária é requerida uma exactidão muito elevada para obter um ajuste apropriado, que exclui o encerramento artificial da abertura. Assim, a presente invenção é particularmente apropriada para a aplicação no campo dentário, tal como para o digitalizador de dentes, de próteses, ou em impressões de um ou mais dente ou de uma prótese.

A Figura 5 mostra uma digitalização adaptativa do lado superior 400 e do lado inferior 401 de uma impressão dentária com dois lados, que simultaneamente capta as impressões negativas dos dentes e a dentada. Para dar forma à digitalização total 402 de uma impressão de dois lados a impressão superior e a impressão inferior podem ser registadas de preferência de forma automática mas opcionalmente podem ser suportadas pela marca do utilizador nas duas digitalizações de um ou mais pontos correspondentes 403.

Num outro aspecto a invenção é destinada a um sistema de digitalização capaz de executar o método conforme descrito acima. Dessa forma, a invenção é destinada a um sistema de digitalização para produção de um modelo de computador 3D de um objecto físico, que inclui pelo menos uma fonte de luz; pelo menos uma câmara, e pelo menos um suporte para suportar o objecto físico, e um sistema de processamento de dados incluindo um dispositivo de entrada, uma unidade central de processamento, uma memória, e um visualizador, em que o referido sistema de processamento de dados armazenou nele próprio dados representativos das instruções de sequências que quando executadas levam a que o método

descrito acima seja executado. Os componentes do sistema de digitalização são como descrito acima relativos ao método.

Num terceiro aspecto a invenção é destinada a um sistema de processamento de dados como descrito acima para produção de um modelo de computador 3D de um objecto físico, incluindo um dispositivo de entrada, uma unidade central de processamento, uma memória, e um visualizador, em que o referido sistema de processamento de dados armazenou nele próprio dados representativos das instruções de sequências que quando executadas levam a que o método da invenção seja executado.

Numa quarta forma de realização a invenção é destinada a um produto de software de computador que contém sequências de instruções que quando executadas levam a que o método da invenção seja executado.

Numa quinta forma de realização a invenção é destinada a um produto de circuito integrado que contém sequências de instruções que quando executadas levam a que o método da invenção seja executado.

Lisboa, 30 de Junho de 2009

REIVINDICAÇÕES

1. Um método para produção de um modelo de computador 3D de um objecto físico, em que o referido método inclui as seguintes etapas:

a) fornecimento de um sistema de digitalização, em que o referido sistema de digitalização inclui

i. um digitalizador, e

ii. um computador ligado e/ou integrado no digitalizador referido, em que o computador referido inclui um modelo do referido digitalizador virtual,

b) introdução no computador da informação da forma do objecto físico,

c) criação no computador referido de uma função de visibilidade baseada no modelo virtual referido e na informação da forma, em que a referida função de visibilidade é capaz de avaliar a cobertura das áreas de interesse do objecto físico pelo menos por uma sequência de digitalização predeterminada,

d) estabelecimento de pelo menos uma sequência de digitalização baseada na avaliação da função de visibilidade,

e) execução de uma digitalização do objecto físico referido utilizando pelo menos uma sequência de digitalização,

f) repetição opcional dos passos d) e e) pelo menos uma vez,

g) obtenção de um modelo de computador 3D do objecto físico.

2. O método de acordo com a reivindicação 1, em que a informação da forma é obtida por uma digitalização inicial do objecto físico.

3. O método de acordo com a reivindicação 1, em que a informação da forma é informação indirecta da forma.

4. O método de acordo com a reivindicação 1, em que a informação da forma é um modelo de projecto assistido por computador (modelo do CAD).

5. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que a informação da forma e o objecto estão alinhados por uma fixação do objecto ao digitalizador.

6. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que a informação da forma e o objecto estão alinhados por uma digitalização inicial que está alinhada com a informação da forma.

7. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que o sistema de digitalização é um sistema de digitalização de luz óptica estruturada.

8. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que o digitalizador é um digitalizador de superfície.

9. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedente, em que o sistema de digitalização inclui os seguintes componentes: pelo menos uma fonte de luz, pelo menos uma câmara, e pelo menos um suporte para suportar o objecto físico.

10. O método de acordo com a reivindicação 9 em que pelo menos um dos seguintes componentes: a fonte de luz, a câmara e o suporte é móvel em relação a um dos outros componentes.

11. O método de acordo com a reivindicação 9 ou 10 em que o suporte é móvel em relação à fonte de luz.

12. O método de acordo com a reivindicação 9, 10 ou 11 em que o suporte é móvel em relação à câmara.

13. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que o sistema de digitalização inclui pelo menos duas fontes de luz.

14. O método de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, em que o sistema de digitalização inclui pelo menos duas câmaras.

15. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que é estabelecida pelo menos uma sequência de digitalização da etapa d) por simulação da cobertura do objecto físico de pelo menos duas sequências de digitalização, e seleccionando a sequência de digitalização que tem uma melhor cobertura.

16. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que a sequência de digitalização estabelecida na etapa d) é estabelecida por obtenção da cobertura de aberturas ocultas na informação da forma do objecto físico.

17. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que a sequência de digitalização é estabelecida por otimização do digitalizador para a melhor superfície do ângulo para a câmara e/ou para o ângulo do laser.

18. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que a sequência de digitalização é estabelecida por otimização para a velocidade da sequência de digitalização.

19. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que a sequência de digitalização estabelecida é otimizada para reflexões mínimas do objecto físico.

20. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que a sequência de digitalização estabelecida é otimizada para a visibilidade para mais do que uma câmara.

21. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que é criada uma sequência de digitalização movendo pelo menos um dos componentes do digitalizador em relação a pelo menos um dos outros componentes.

22. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que a cobertura das áreas do objecto físico é avaliada por avaliação da percentagem da área de aberturas em comparação com a área estimada do objecto físico.

23. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que a cobertura das áreas do objecto físico é avaliada por avaliação do tamanho das aberturas.

24. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que as etapas d) e e) são repetidas até que a cobertura do objecto físico esteja acima de um valor predeterminado.

25. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que o modelo de computador 3D do objecto físico é obtido por combinação da informação da informação da forma do objecto físico e pelo menos um dos resultados da digitalização executada na etapa e).

26. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que o modelo de computador 3D do objecto físico é obtido por combinação da informação de pelo menos duas sequências de digitalização executadas na etapa e).

27. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que a informação da forma do objecto físico é uma nuvem de pontos.

28. O método de acordo com as reivindicações precedentes 1-23, em que a informação da forma do objecto físico é obtida por ajuste de uma superfície a uma nuvem de pontos.

29. O método de acordo com a reivindicação 28 em que o ajuste é efectuado como triangulação.

30. O método de acordo com a reivindicação 9, em que o suporte para suportar o objecto físico é capaz de conduzir pelo menos um dos seguintes movimentos: um movimento linear, um movimento rotativo, ou uma combinação desses.

31. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que o modelo virtual do digitalizador é criado antes da introdução da informação da forma.

32. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que o objecto físico tem uma superfície irregular.

33. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que o objecto físico é seleccionado a partir de impressões de objectos anatómicos ou dentários.

34. O método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, em que o objecto físico é uma impressão de pelo menos um dente.

35. Um sistema de digitalização para produção de um modelo de computador 3D de um objecto físico, que inclui pelo menos uma fonte de luz, pelo menos uma câmara, e pelo menos um suporte para suportar o objecto físico, e um sistema de processamento de dados incluindo um dispositivo de entrada, uma unidade central de processamento, uma memória, e um visualizador, em que o referido sistema de processamento de dados armazenou nele próprio dados representativos das instruções de sequências que quando

executadas levam a que o método das reivindicações 1 a 34 seja executado.

36. Um sistema de processamento de dados para produção de um modelo de computador 3D de um objecto físico, incluindo um dispositivo de entrada, uma unidade central de processamento, uma memória, e um visualizador, em que o referido sistema de processamento de dados armazenou nele próprio dados representativos das instruções de sequências que quando executadas levam a que o método das reivindicações 1 a 34 seja executado.

37. Um produto de software de computador que contém sequências de instruções que quando executadas levam a que o método das reivindicações 1 a 34 seja executado.

38. Um produto de circuito integrado que contém sequências de instruções que quando executadas levam a que o método das reivindicações 1 a 34 seja executado.

Lisboa, 30 de Junho de 2009

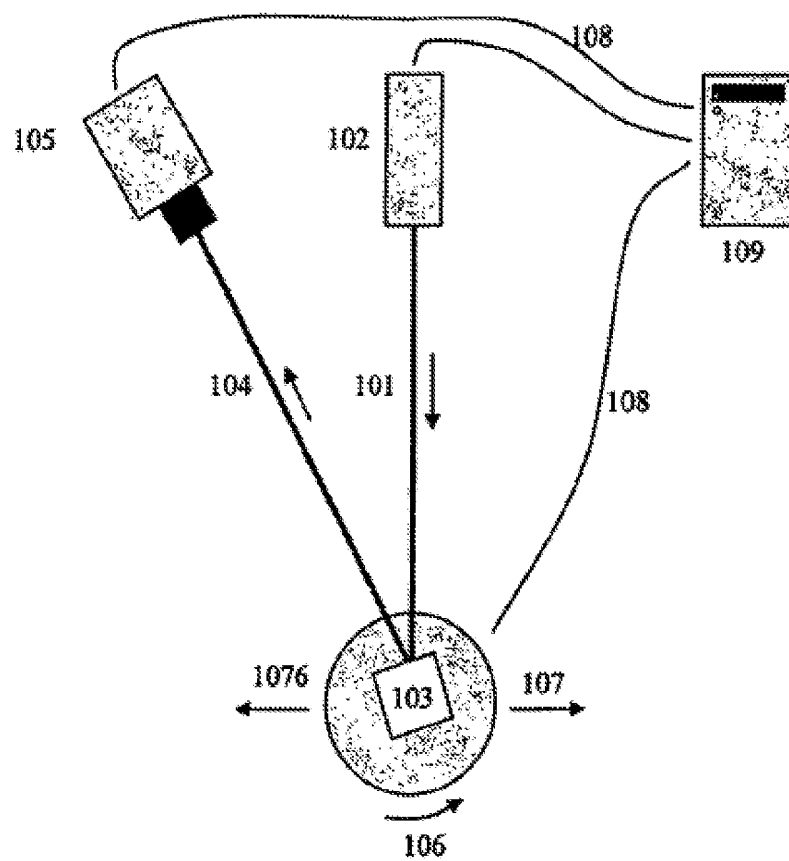


Fig. 1

Sistema de Rastreo Óptico

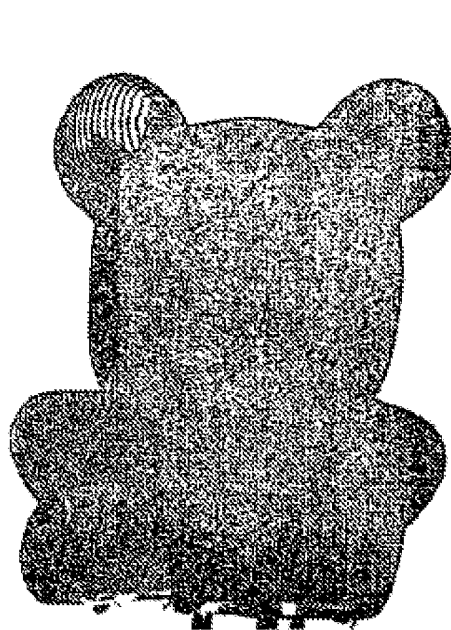


Fig. 2a

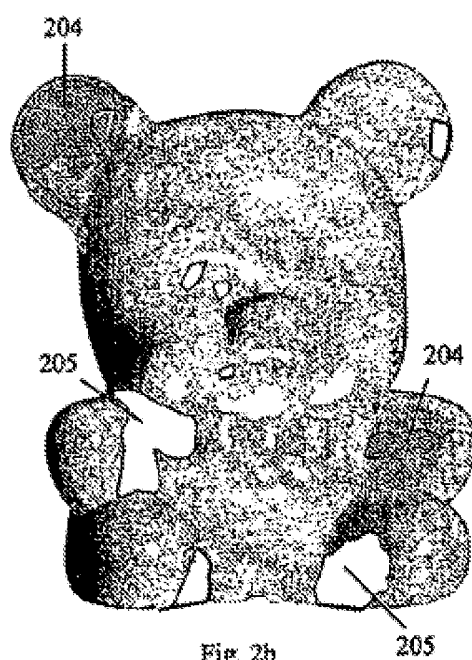


Fig. 2b

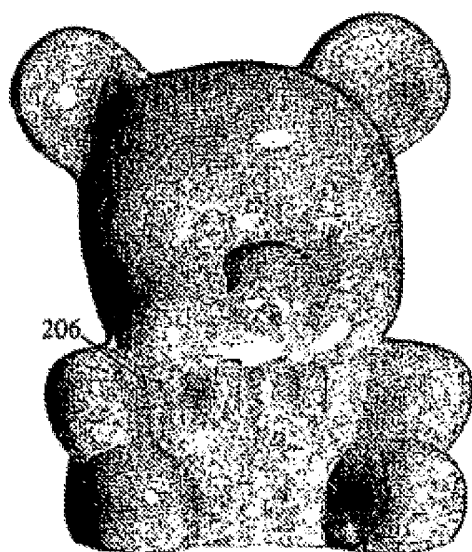


Fig. 2c

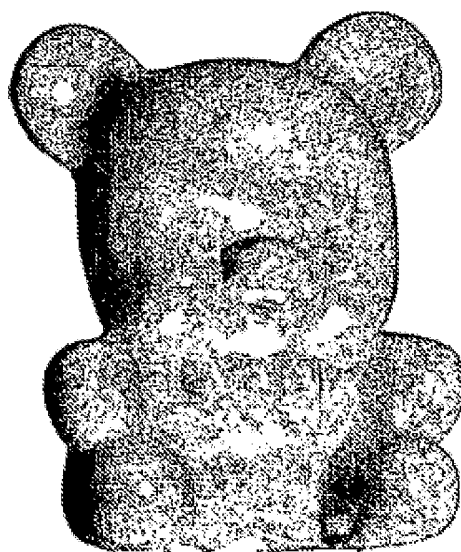
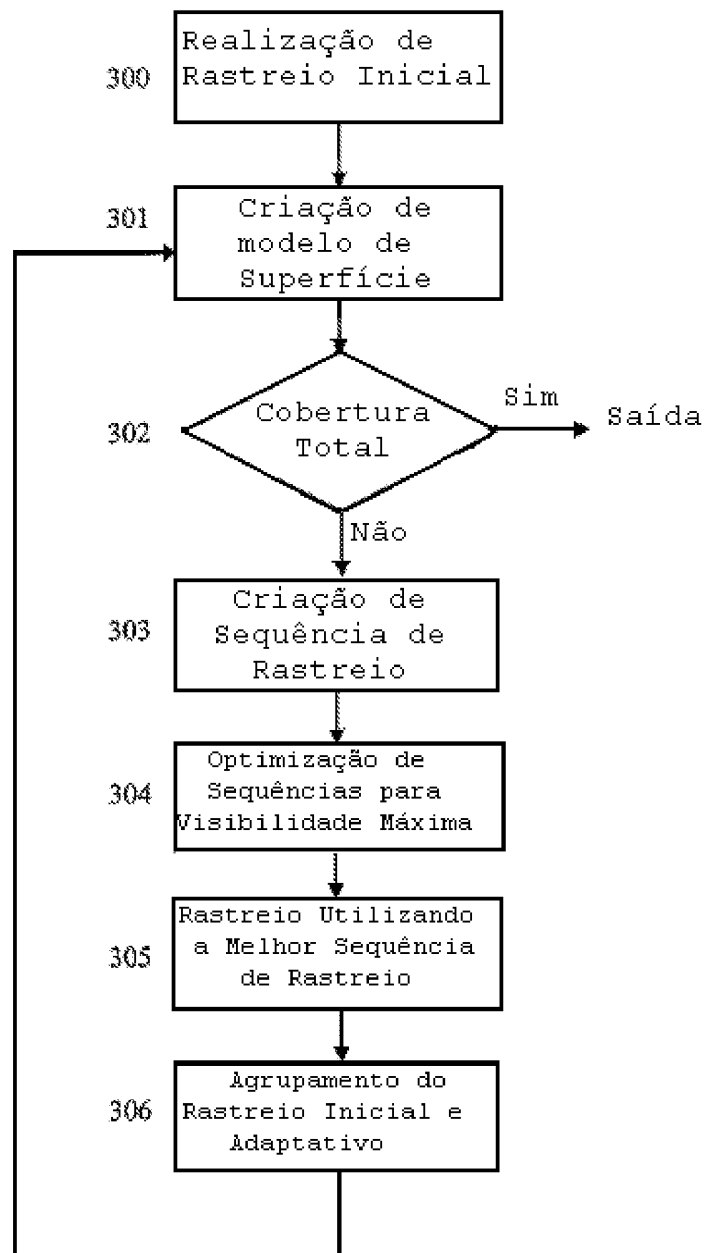
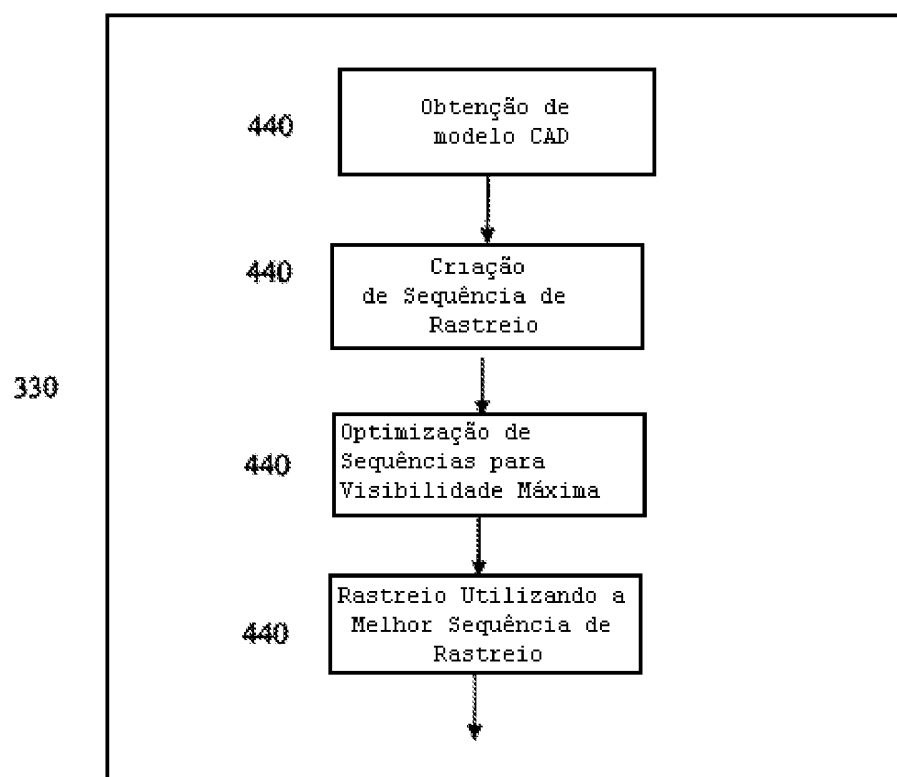


Fig. 2d

Rastreo adaptativo de objecto para a criação de um modelo computacional 3D

**Fig. 3**

Rastreo de áreas descobertas

**Fig. 4**

Criação automática de Rastreio Inicial

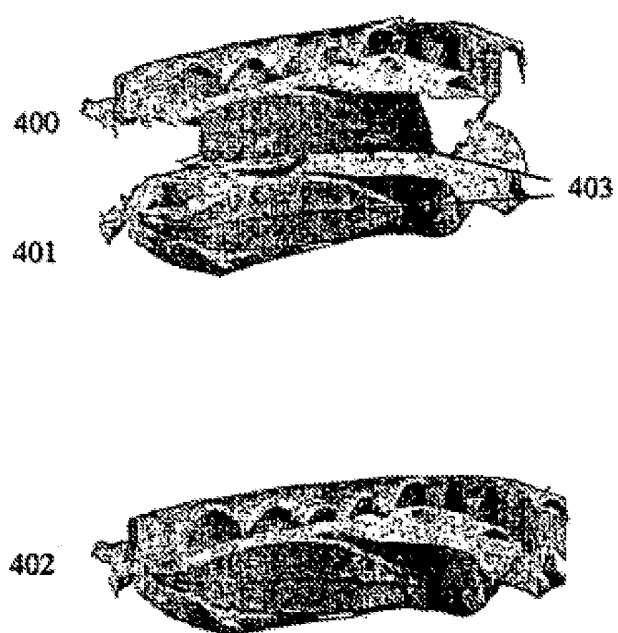


Fig. 5

Rastreo de impressões dentárias