

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 852/2010 (51) Int. Cl. : **G21K 1/12** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 25.05.2010 **G06T 11/00** (2006.01)
(43) Veröffentlicht am: 15.12.2011 **A61B 6/03** (2006.01)
H05G 1/04 (2006.01)

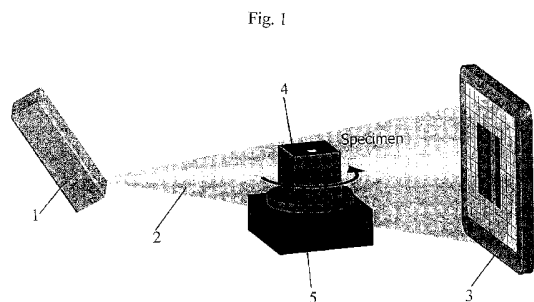
(56) Entgegenhaltungen:
WO 200231767 A2
WO 2006094493 A2

(73) Patentanmelder:
FH OÖ FORSCHUNGS & ENTWICKLUNGS
GMBH
A-4600 WELS (AT)

(72) Erfinder:
REITER MICHAEL
MARCHTRENK (AT)
AMIRKHANOV ARTEM
UFA (RU)
KASTNER JOHANN
ENNS (AT)
HEINZL CHRISTOPH
ALTSCHWENDT (AT)

(54) **VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER OPTIMALEN LAGE EINES OBJEKTES FÜR EINE
3D-CT-DURCHSTRAHLUNG**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur schnellen Bestimmung der optimalen Objektlage eines Messobjektes (4) für 3D-Computertomografie, kurz 3DCT. Dabei wird ein Simulationsverfahren für CT-Systeme geschaffen, das eine visuelle Analyse der Platzierung des Probestücks (4) aufgrund seines geometrischen 3D-Modells erlaubt. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es, zwischen möglicherweise guten oder schlechten Platzierungen eines Probestück (4) zu unterscheiden und herauszufinden, welche Bereiche eines Probestücks (4) die meisten Artefakte verursachen könnte. Das Verfahren wird für Analysen des Probestücks vor der eigentlichen CT- Messung benutzt, um die optimale Platzierung des Probestücks (4) im Strahlengang (2) vorab festzulegen.



Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur schnellen Bestimmung der optimalen Objektlage eines Messobjektes⁽⁴⁾ für 3D-Computertomografie, kurz 3DCT.

Dabei wird ein Simulationsverfahren für CT-Systeme geschaffen, das eine visuelle Analyse der Platzierung des Probestücks⁽⁴⁾ aufgrund seines geometrischen 3D-Modells erlaubt. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es, zwischen möglicherweise guten oder schlechten Platzierungen eines Probestücks⁽⁴⁾ zu unterscheiden und herauszufinden, welche Bereiche eines Probestücks⁽⁴⁾ die meisten Artefakte verursachen könnte. Das Verfahren wird für Analysen des Probestücks vor der eigentlichen CT- Messung benutzt, um die optimale Platzierung des Probestücks⁽⁴⁾ im Strahlengang⁽²⁾ vorab festzulegen.

(Fig. 1)

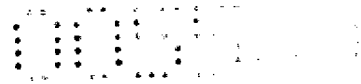
Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur schnellen Bestimmung der optimalen Objektlage eines Messobjektes für 3D-Computertomografie, kurz 3DCT.

Durch eine 3D-Computertomographie wird das gesamte Volumen eines Objekts durch allseitige Durchstrahlung entlang einer kreisförmigen Trajektorie abgebildet. Die Röntgenquelle sendet dabei eine kegelförmige Strahlung aus, die vom Messobjekt abgeschwächt wird. Ein Flachbett-Detektor hinter dem Objekt detektiert die Röntgenstrahlung. Für eine vollständige CT-Messung wird das Messobjekt einmal um seine eigene Achse gedreht.

Moderne industrielle Computertomografie-Systeme für die Qualitätskontrolle von Prüflingen sind häufig mit Problemen durch Artefakte konfrontiert, die durch eine schlechte Positionierung und Orientierung des Messobjekts auf einem Drehteller verursacht werden. Artefakte sind künstliche Strukturen in der rekonstruierten Darstellung des Objektes, die nicht der Realität entsprechen. Einige der wesentlichsten Artefakte sind Streifenartefakte, Strahlaufhärtung, Teilvolumenartefakte, Treppeneffekte und Streustrahlung. Die Charakteristik und die Stärke der Artefakte werden hauptsächlich durch die Geometrie des Probestücks, die Position und die Lage im kegelförmigen Strahlengang, die Messparameter und die Materialeigenschaften des Messobjektes bestimmt.

Aufgrund dieser Artefakte kommt es zu einer Reduktion der Datenqualität. Wenn beispielsweise bei dem Prüfkörper auch nur in einem geringen Teil der für die computertomografische Rekonstruktion notwendigen Durchstrahlungsbilder eine Kombination aus einer hohen Absorption einerseits und einem großen Durchstrahlungsweg andererseits eintritt, führt dies zu unmessbar geringen Intensitäten und in weiterer Folge zu lückenhaften Projektionsdaten. Bei einer Qualitätsprüfung eines Prüflings können diese Artefakte beispielsweise die Erfassung von Materialfehlern in Bereichen mit geringer Absorption verhindern. Dies erschwert wesentlich die nachfolgende automatische Datenauswertung.

Die größten Fehler treten im rekonstruierten 3D Datensatz aber vor allem bei Flächen auf, die normal zur Rotationsachse verlaufen und stellen Rekonstruktionsartefakte, wie z.B. auslaufende, also nicht scharfe Objektkanten dar. Solche Artefakte sind stark abhängig davon welche Lage bzw. Orientierung ein Messobjekt im Röntgenstrahl hat.



Aus der WO 02/31767 ist ein Verfahren zur Lösung dieses Problems bekannt, dem die Erkenntnis zugrunde liegt, dass eine Darstellung eines Objektes mittels einer Durchstrahlung im Hinblick auf eine nachfolgende Rekonstruktion des Objektes anhand der Darstellung verbessert werden kann, indem simulierte Daten, die einer simulierten Durchstrahlung des Objektes entsprechen, bereits vor einer Rekonstruktion als vorab Information zum Messen einer Durchstrahlung des Objektes verwendet werden.

Ein Modell des Objektes, beispielsweise ein CAD-Modell, das dem Sollaufbau eines Prüflings entspricht, wird verwendet, um Durchstrahlungen des Objektes aus mehreren Durchstrahlungsrichtungen zu berechnen und damit simulierte Daten zu erzeugen. Diese simulierten Daten werden dann dahingehend ausgewertet, um die Messparameter einer Messeinrichtung, die die Durchstrahlung eines Objektes misst, zu optimieren. Anhand der simulierten Daten wird es hierbei möglich, bessere oder optimale Durchstrahlungsrichtungen und eine oder mehrere verbesserte oder optimale richtungsabhängige Belichtungsparameter zu bestimmen.

Wie hierin weiter erläutert wird, kann die Optimierung so durchgeführt werden, dass die bestimmten Messparameter die Artefakte bei einer Rekonstruktion des Objektes basierend auf den gemessenen Daten möglichst gering halten. Die Messparametereinstellung kann dahingehend verbessert werden, dass die Anzahl von Durchstrahlungsrichtungen mit schlechten Durchstrahlungsbedingungen bzw. hoher Absorption möglichst gering gehalten werden.

Nachteilig bei diesem Verfahren ist jedoch, dass die Ermittlung der optimalen Messparameter mehrere Stunden, objektabhängig sogar bis zu einem Tag oder noch länger dauern kann und daher für den Routinebetrieb einer Qualitätsprüfung ungeeignet ist.

Die vorliegende Erfindung stellt sich daher die Aufgabe, ein Verfahren zur erheblich schnelleren Bestimmung der optimalen Objektlage in einer 3D-Computertomografie zur Verfügung zu stellen.

Diese Aufgabe wird gelöst indem ein Simulationsverfahren für CT-Systeme geschaffen wird, das eine visuelle Analyse der Platzierung des Probestücks aufgrund seines geometrischen 3D-Modells erlaubt. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es, zwischen möglicherweise guten oder schlechten Platzierungen eines Probestücks zu unterscheiden und herauszufinden,

welche Bereiche eines Probestücks die meisten Artefakte verursachen könnte. Das Verfahren wird für Analysen des Probestücks vor der eigentlichen CT- Messung benutzt, um die optimale Platzierung des Probestücks im Strahlengang vorab festzulegen.

Ziel der vorliegenden Erfindung ist es also, eine Methode bereitzustellen, welche geeignet ist die optimale Objektlage noch vor der Durchführung eines 3DCT eines realen Objektes zu bestimmen. Damit soll der Zeitaufwand gegenüber bekannten Methoden dieser Art erheblich reduziert werden, da die optimale Objektlage wesentlich zur Reduzierung des Auftretens von Artefakten beiträgt.

Für polychromatische Strahlung, wie sie in der 3DCT benutzt wird, ist der Zusammenhang zwischen Abschwächung und Durchstrahlungslänge nicht linear. Das polychromatische Spektrum eines Röntgenstrahls wird beim Durchgang durch Objekte aufgehärtet. Dies bedeutet, dass der energiereichere Anteil der Strahlung durch das Objekt durchgeht, während die energieweicheren Anteile absorbiert werden. Übrig bleibt ein aufgehärtetes Spektrum, das hauptsächlich den Anteil der höheren Energie enthält. Dieser Effekt wird Strahlauvhärtung genannt. Diese Strahlauvhärtung ist die Ursache für zwei Arten von Veränderungen in den rekonstruierten Daten: einerseits wird eine Formänderung hervorgerufen, andererseits scheinen homogene Materialien im rekonstruierten Datensatz inhomogen zu sein.

Bei Monomaterialprüflingen ist die Durchstrahlungslänge ein sehr wichtiger Parameter, den es gilt herabzusetzen, um Abweichungen zu verringern und die Messgenauigkeit zu verbessern.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand der Figuren näher erläutert. Darin zeigt:

Fig. 1 die typische Anordnung für eine 3DCT-Untersuchung;

Fig. 2 eine ungünstige Anordnung des Messobjekts im Röntgenstrahl;

Fig. 3 eine günstige Anordnung des Messobjekts im Röntgenstrahl;

Fig. 4 die Bildschirmsicht im Analyse-System;

Fig. 5 den schematischen Ablauf des Analyse-Systems;

Fig. 6 ein farbunterlegtes Diagramm, welches üblicherweise beispielsweise rote und grüne Bereiche darstellt, hier in schwarz-weiß;

Fig. 7 einen typischen 3D Plot, üblicherweise ebenfalls rot-grün unterlegt;

Fig. 8 eine Darstellung des Radon Raumes;



Fig. 9 die Rekonstruktion eines Würfels bei unterschiedlichen Orientierungen;

Fig. 10 eine mathematische Erläuterung zum Radon Raum;

Fig. 11 ein Stabilitätsdiagramm;

Fig. 12 die Darstellung des Messobjektes mit gefärbelten Problemzonen;

Fig. 13 ein Histogramm mit den Parameterverteilungen der Strahlen;

Fig. 14 die Darstellung der Detektorpunkte.

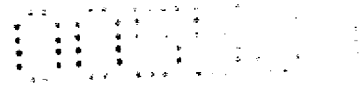
Fig. 1 zeigt die typische Anordnung für eine 3DCT Untersuchung eines Messobjektes. Die Strahlenquelle 1 sendet einen kegelförmigen Röntgenstrahl 2 zum Flachbett-Detektor 3. Das Messobjekt 4 befindet sich auf einem Drehteller 5.

3DCT benutzt üblicherweise eine kreisförmige Trajektorie, um das Messobjekt mit dem kegelförmigen Röntgenstrahl zu erfassen. Aufgrund der Tuy Smith -Hinlänglichkeitsbedingung können die Radonraumdaten des abgelenkten Gegenstandes in dieser Bildgeometrie nicht fehlerfrei rekonstruiert werden, und eine genaue Rekonstruktion ist nur in der zentralen Ebene möglich die normal zur Rotationsachse ist und den Quellpunkt schneidet. Wenn eine kreisförmige Trajektorie in der CT-Abtastung verwendet wird, verursachen fehlende Radondaten Rückprojizierungs-Artefakte.

Die Charakteristik und die Stärke der Artefakte kann daher durch die Auswahl der optimalen Platzierung des Probestücks auf dem Drehteller verringert werden.

Unterschiedliche Platzierungen des Probestücks beeinflussen die Durchstrahlungslänge. Folglich können die Resultate der 3DCT durch eine gute Platzierung des Probestücks verbessert werden. Ein Beispiel einer guten und einer schlechten Platzierung des Probestücks ist in den Figuren 2 und 3 gezeigt.

Die Platzierung nach Fig. 2 stellt eine Orientierung dar, die hohe Durchstrahlungslängen aufweist und bei der Abtastung problematische Flächen, die starke Artefakte produziert. Die Platzierung nach Fig. 3 hat kürzere Durchstrahlungslängen und generiert daher weniger und schwächere Artefakte. Je nach Lage des Messobjekts 4 ist die Durchstrahlungslänge 6 durch das Messobjekt 4 unterschiedlich lang.



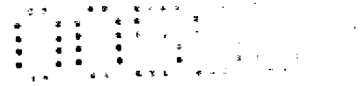
Es würde zuviel Zeit kosten ein Probestück mehrfach abzutasten, um die optimale Platzierung empirisch zu finden. Typische Scan-Zeiten liegen bei ungefähr 40 Minuten pro Einzelmessung. Die vorliegende Erfindung ermöglicht anhand einer kompakten Bildschirmdarstellung die relevanten Parameter soweit zu verändern um die optimalen Messparameter vorab zu ermitteln, wie in Fig. 4 gezeigt.

Ein weiteres Thema ist die Komplexität 3DCT Resultate miteinander zu vergleichen. Gegenstand dieser Erfindung ist daher auch ein Analysesystem, das eine 3DCT-Abtastung mit Ray-casting simuliert und eine visuelle Analyse der erhaltenen Daten erlaubt. Der schematische Ablauf dieses Systems wird in Fig. 5 gezeigt.

Wie in Fig. 4 ersichtlich gibt es drei Hauptbereiche im Analyse-System. Der Bereich A der 3D Ansicht zeigt das 3D-Modell des Messobjekts 4 und die Positionen des Detektors 3 und der Strahlenquelle 1. Der Ansichtsbereich B zeigt das Resultat des Ray-casting als Bild und der Bereich C zur visuellen Analyse enthält alle Elemente, die der Benutzer zur visuellen Analyse der Daten benötigt. Die Ansichten sind miteinander verknüpft, indem die 3D-Ansicht und das Resultat des Ray-casting für die ausgewählte Platzierung aktualisiert dargestellt werden.

Der Ablauf des Analyse-Systems ist in Fig. 5 dargestellt. Ein 3D Oberflächenmodell 7 des Probestücks 4 wird als Input verwendet. Dann werden die wesentlichen Daten für einen Satz von Platzierungen 8 mit Ray-casting und die Position im Radonraum 9 berechnet. Durch Analyse der erhaltenen Daten wird die optimale Platzierung 10 ermittelt und die resultierenden Qualitäten der verschiedenen Oberflächenelemente bestimmt. Die Analyse der Platzierungen 8 umfasst dabei die Untersuchung der Durchstrahlungslänge 6, des Radonraums 9 und die Stabilität der Platzierung 10.

Die Analyse der Flächen 11 schließt dabei die Selektion nach Merkmalen 12, die Farbkennzeichnung schwieriger Bereiche 13, den Aufbau von Verteilungs-Histogrammen 14 und das Sichtbarmachen schlechter Durchstrahlungen 15 ein. Damit bietet das erfindungsgemäße Rechenmodell dem Benutzer umfangreiche Möglichkeiten zur visuellen Analyse und hilft, gute oder schlechte Platzierungen 8 des Messobjekts 4 zu unterscheiden. Auch problematische Bereiche des Probestücks, die die meisten Artefakte für eine bestimmte Platzierung verursachen werden identifiziert.



Die vorliegende Erfindung konzentriert sich also auf die Platzierung und die Durchstrahlungslänge und strebt keine detaillierte Simulation der Röntgenstrahlen-Dämpfung und -Interaktion mit dem Material an, wie in der WO 02/31767 .

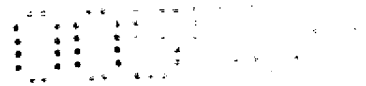
Ray-casting wird hier benutzt um die Durchstrahlungslänge 6 zu berechnen. Diese Methode ist zwar teurer als Durchstrahlungslängen durch Rasterisierung zu berechnen, aber Ray-casting bietet eine höhere Flexibilität und kann daher auch für komplexere Berechnungen verwendet werden. Die Implementierung zusätzlicher Funktionalitäten, wie z.B. die Berechnung eines anderen Parameters, wie etwa die Streuung der Strahlung lässt sich leicht einfügen.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Abbildung zwischen einer realen Abtastung im 3DCT und der Ray-casting Simulation. Die Quelle der Röntgenstrahlung wird durch den Ursprung des Stahls ersetzt.

3DCT scanning	Ray casting
Röntgenquelle	Quelle der virtuellen Strahlen
Einzelner Strahl	Zelle des virtuellen Detektors
Probestück	3D Geometriemodell

Berechnet wird ein Strahl für jede Zelle des virtuellen Detektors (Detektorpixel) und das Resultat als Pixelinformation gespeichert. Das reale Messobjekt 4 wird ersetzt durch sein 3D-Geometriemodell 7 . Die Schnittpunkte zwischen den Strahlen und dem Probestück werden analytisch bestimmt.

Die Simulation wird für einen diskreten Satz möglicher Platzierungen durchgeführt. Dabei wird jede Platzierung durch die Orientierung und die Position des Probestücks festgelegt. Alle Platzierungen des Probestücks in einem Satz entsprechen dabei der gleichen Position und nur die Orientierung wird verändert. Die Orientierung wird durch zwei Euler Winkel α und β bestimmt. Aufeinander folgende Orientierungen in einem Satz werden erreicht, indem einer der Euler Winkel mit einem bestimmten Schrittwinkel geändert wird, der andere Winkel aber konstant gehalten wird. Dabei bestimmen die Anzahl der zu berechnenden Orientierungen und die Variationsbreite diesen Schrittwinkel. Im erfindungsgemäßen Analysesystem ist vorgesehen, dass der Anwender die Variationsbreite und die Anzahl der Proben für beide Euler



Winkel frei spezifizieren kann. Für jede Platzierung in einem Satz wird das Ray-casting durchgeführt und die Durchstrahlungslänge ρ errechnet.

Die Daten aus diesem Ray-casting werden in drei Schichten dargestellt: die Schicht der Strahlen, die Schicht der Projektionen und die Schicht von Platzierungen.

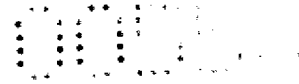
Eine Platzierung besteht aus einem Satz von Projektionen. Die Projektionen einer Platzierung werden dabei durch Drehung des Probestücks um eine vertikale Achse erreicht. Jede Projektion wird ihrerseits durch die Berechnung einer Anzahl von Strahlen errechnet. Die Durchstrahlungslänge wird für jeden Strahl als die Summe der Abstände errechnet, die der Strahl innerhalb des Probestücks zurück legt. Die durchschnittlichen Durchstrahlungslängen einer Projektion werden der Reihe nach als Durchschnitte von den entsprechenden Strahlen errechnet. Schließlich werden die durchschnittlichen Durchstrahlungslängen einer Platzierung als Durchschnitte von den entsprechenden Projektionen errechnet.

Zusätzlich werden für jede Projektion und jede Platzierung die Werte der maximalen Durchstrahlungslängen ermittelt. Die maximale Durchstrahlungslänge einer Projektion ist die maximale Durchstrahlungslänge der zugehörigen Strahlen. Die maximale Durchstrahlungslänge einer Platzierung ist die maximale Durchstrahlungslänge der entsprechenden Projektionen.

Zur Beschleunigung der Ray-casting Implementierung wurden parallel CPU und GPU eingesetzt.

Nachfolgend wird nun die Analyse der Platzierung beschrieben. Ein bestimmter Satz von Platzierungen wird aufgrund der Durchstrahlungslänge und des Radonraums analysiert, um die optimale Position und die Orientierung des Probestücks zu ermitteln. Für jede Platzierung werden drei Parameter errechnet: die maximale Durchstrahlungslänge, die durchschnittliche Durchstrahlungslänge und der Anteil der nicht vollständig rekonstruierbaren Bereiche im Radonraum. Das erfindungsgemäße Verfahren erlaubt dem Benutzer die visuelle und die vergleichende Analyse der Parameter der Platzierung. Die Parameter für jede Platzierung im Satz werden mit farbunterlegten Diagrammen nach Fig. 6 und 3D Plots nach Fig. 7 dargestellt. Dunklere Bereiche stehen hier für einen höheren Wert und hellere für einen niedrigeren Wert.

Jedes Pixel des farbcodierten Diagramms sowie jede Ecke des 3D Plots wird entsprechend dem Wert eines Platzierungsparameters gefärbt. Die vertikale Achse des farbcodierten Dia-



gramms entspricht dem Euler Winkel α und die horizontale Achse entspricht dem Euler Winkel β . Der Anwender kann durch Auswahl auf dem farbcodierten Diagramm die Parameter der Platzierung, die Orientierung und die Position ermitteln. Durch die Auswahl wird die 3D Ansicht automatisch so angepasst, dass das Probestück in Orientierung und Position der ausgewählten Platzierung entspricht. Zusätzlich kann der Benutzer einen bestimmten Prozentsatz der Platzierung mit den besten Parameterinhalten auf dem Farbdigramm auswählen, indem er einen entsprechenden Schieberegler einstellt. Die nicht markierten Platzierungen werden in Schwarz angezeigt.

Im folgenden werden alle Parameter, die für die Analyse der Platzierung verwendet werden, beschrieben, sowie erläutert, wie jeder Parameter errechnet wird, den Wert des Parameters der Artefakte verursacht und welche Arten von Artefakten durch diesen Parameter verursacht werden.

Wie bereits erwähnt verursachen hohe Durchstrahlungslängen Artefakte durch Strahlaufhärtung und Abweichungen in der Messung. Folglich ist die Durchstrahlungslänge ein sehr wichtiger Parameter, den es zu reduzieren gilt, um die Abweichungen zu verringern und die Messgenauigkeit zu verbessern. Es gibt zwei wichtige Faktoren, die die Optimalität einer Positionierung beurteilen, erstens wie lang die Durchstrahlungslängen sind im Vergleich mit anderen Positionierungen und zweitens welche Positionierungen erhöhte Strahlungslängen aufweisen. Hierfür werden zwei Parameter für die Analyse der Durchstrahlungslänge einer Platzierung verwendet: die maximale Durchstrahlungslänge der Positionierung und die durchschnittliche Durchstrahlungslänge der Positionierung.

Nachfolgend wird die Analyse des Radonraumes nach Fig. 8 beschrieben.

Die 3D-Funktion f ist im Bereich D definiert. Die kontinuierliche 3D-Radon Transformation bildet eine Funktion in \mathbb{R}^3 in einer Menge von Ebenen-Integralen in \mathbb{R}^3 ab. Die Radon-Transformation von f , gegeben als Vektor n ist spezifiziert durch:

$$\check{f}(\vec{n}) = \int_{\vec{r} \in P(\vec{n})} f(\vec{r}) d\vec{r} \quad (1)$$

worin P eine 2D Fläche ist, mit einem normalen Vektor kollinear zu n und einer Versetzung um den Betrag $|n|$ vom Ursprung. Dieser Zusammenhang wurde erstmals von Radon stu-



diert der zeigte, dass – falls f konstant ist – dort eine einheitliche und analytisch inverse Transformation besteht. Die 3DCT Abtastung entspricht der Radon Transformation einer Funktion f . Rekonstruktionsalgorithmen approximieren die Invertierung.

Die Kegelstrahlabtastung entlang einer kreisförmigen Trajektorie entspricht der Abtastung mit einer Röntgenstrahlenquelle 1 die um das Messobjekt 4 gedreht wird bzw. einer Drehung des Messobjekts 4 auf dem Drehteller 5. Kegelstrahlabtastungen entlang einer kreisförmigen Trajektorie werden üblicherweise in der Röntgenstrahlen 3DCT verwendet, sh. Fig. 1. Gemäß der Erkenntnis von Tuy-Smith gilt, falls es für jede Schnittebene durch das Objekt mindestens einen Kegelstrahl-Ausgangspunkt gibt – dann kann man dieses Objekt rekonstruieren. Die kreisförmige Kegelstrahltrajektorie entspricht dieser Voraussetzung nur bedingt. Es ist nicht möglich Radonraum Daten des durchstrahlten Objekts mit Kegelstrahlgeometrie entlang einer kreisförmigen Trajektorie vollständig zu messen. Der einzige Ort für eine exakte Rekonstruktion ist die zentrale Ebene, die normal zur Rotationsachse ist und den Quellpunkt schneidet. Mit einer Kegelstrahlordnung und kreisförmiger Trajektorie können nur die Bereiche rekonstruiert werden, die in der zugehörigen Repräsentation im Radonraum innerhalb der Oberfläche eines Torus liegen.. Der Radius des Torus entspricht dabei dem Abstand von der Röntgenstrahlenquelle zum Rotationszentrum.

Nach der vollständigen Simulation wird die Repräsentation im Radonraum sowie der Torus im Radonraum ermittelt. Je höher die Anzahl der Projektionen ist, umso besser ist die Radon Transformation innerhalb des Torus abgebildet. Jener Teil der Radon Information, welcher nicht innerhalb eines Abtastkreises erfasst ist, wird als Schattenzone bezeichnet. Veranschaulicht ist dieser Zusammenhang in Fig. 8. Alle Oberflächen eines Gegenstandes, die zur Drehachse senkrecht sind - ausgenommen die Mittelebene - liegen in der Schattenzone. Je größer der Abstand der Objektoberfläche von der Mittelebene ist, und je größer der Rückprojektionwinkels zur betrachteten Oberfläche ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Oberflächenelement in der Schattenzone liegt. Bereiche des Probestücks, die in der Schattenzone liegen, erzeugen in der Rekonstruktion Artefakte aufgrund unvollständiger Informationen, wie aus Fig. 9 hervorgeht. Hier ist die Rekonstruktion eines Würfels dargestellt. Die Messobjektkanten erscheinen zuerst unscharf. Wird der Würfel gedreht, verschwinden diese Artefakte.



Die Idee der Radonraum-Untersuchungsmethode untersucht Bereiche außerhalb des Torus und berechnet den effektiven Anteil der Oberfläche des virtuellen Messobjektes. Dabei wurde jene Positionierung des Messobjektes als optimal betrachtet, die den geringsten artefaktbehafteten Oberflächenanteil aufweist. Am Beispiel des virtuellen Messobjekts – dargestellt als Dreiecksnetz wird für jede Platzierung die Radondarstellung jedes Dreiecks der Probestückoberfläche berechnet. Der Schwerpunkt einer Ebene eines Dreiecks wird als Punkt im Radonraum dargestellt. Der Vektor vom Radonraumursprung zu diesem Punkt hat eine Richtung, die normal auf die Fläche steht und eine Länge, die dem Abstand der Ebene zum Ursprungspunkt entspricht, wie dies aus Fig. 10 hervor geht. Dann wird überprüft, ob dieser Punkt im Radonraum innerhalb des fehlerfrei rekonstruierbaren Torus der gemessenen Daten liegt oder nicht. Daraus errechnet sich die Totalfläche der Dreiecke, deren Radoninformation während der Abtastung verloren geht. Jene Platzierung mit der minimalsten verlorenen Fläche stellt die optimale Platzierung dar. Die Dreiecke des virtuellen Messobjekts können auch durch Flächenanteile des entsprechenden CAD Modells ersetzt werden. Der Prozentsatz der verlorenen Fläche wird als weiterer Parameter in das visuelle Analysesystem aufgenommen. Weiters ist eine farbige Darstellung jener Dreiecke vorgesehen, welche Rückprojizierungsartefakte verursachen.

Die Methode der Untersuchung im Radonraum zeigt jene Bereiche auf, die diese Rückprojizierungsartefakte verursachen. Der Vorteil der dargestellten Methode ist jedoch, dass sie nur von der Abtastungs-Geometrie der 3DCT abhängig ist. Da die Methode nur den Winkel zwischen der betrachteten (Dreiecks-)fläche und der Drehachse benötigt, braucht nur die Berechnung für eine Platzierung durchgeführt werden und es ist nicht erforderlich einen Satz von Projektionen zu verarbeiten, wie es beispielsweise für die Ray-casting Methode erforderlich wäre.

Nachfolgend wird nun die Stabilitäts-Analyse beschrieben.

Die Stabilität der Platzierung wird als ein Parameter in der Analyse verwendet. Die Stabilität einer Platzierung gibt an, wie sehr sich der Wert eines Parameters ändert (beispielsweise die maximale Durchstrahlungslänge) wenn die Lage der Platzierung geändert wird. Je weniger sich die Platzierungsparameter bei einer Veränderung der Orientierung ändern, desto stabiler ist diese Platzierung. Der Anwender ist somit in der Lage, die Orientierung des Probestücks nur mit einer bestimmten Genauigkeit festzulegen. Das bedeutet, dass die Platzierung des

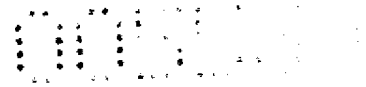


Probestücks für die Abtastung beeinflusst wird von einem bestimmten Fehlerbereich. Wenn sich die Parameter der Platzierung in diesem Bereich drastisch ändern, dann ist die Orientierung wegen ihrer Instabilität ungünstig. Daraus folgt, dass die Stabilität einer Platzierung ein entscheidender Faktor für die Auswahl der optimalen Platzierung ist. Für einen angenommenen Satz von Platzierungen mit gleichmäßig guten Parameterwerten dient die Stabilität der Platzierung dazu, sie in einer Prioritätenliste zu sortieren, um nur die stabilsten Platzierungen auszuwählen.

Für die Visualisierung der Stabilität der Platzierung eines Probestücks wird ein Stabilitätsdiagramm nach Fig. 11 verwendet. Dabei ist die zentrale Zelle eine Zelle, die auf dem Schnittpunkt der Pfeile liegt. Man wählt einen Parameter und eine Platzierung aus um zu sehen, wie sich der Parameter ändert, wenn sich die Orientierung des Probestücks ändert. Abweichungen für den festgelegten Parameter - beispielsweise die maximale Durchstrahlungslänge - werden auf dem Stabilitätsdiagramm angezeigt. Die zentrale Zelle auf dem Diagramm stellt die gegenwärtige Platzierung des Probestücks dar. Benachbarte Zellen entsprechen den Platzierungen hervorgerufen durch Änderung eines der beiden Euler Winkel pro Einzelschritt. Die Abweichung des Parameters von der zentralen Platzierung wird farbunterlegt. Beispielsweise entsprechen grüne Farben den besseren Parameterinhalten und rote den schlechteren. Die maximalen Abweichungen, die erreicht werden durch Änderung von einem der beiden Euler Winkel bei gleichbleibendem anderen Euler Winkel werden grau mit Pfeilen angezeigt. Dunkelgrau entspricht beispielsweise einem ziemlich instabilen Verhalten auf dieser Achse.

Im Folgenden wird nun die Analyse von Bereichen beschrieben.

Sie stellt eine weitere wichtige Aufgabe des Systems dar, indem sie problematische Bereiche des Probestücks identifiziert, welche Artefakte verursachen könnten und damit die Genauigkeit der Messung und die Rekonstruktion behindern. Da die Parameter nicht nur aufgrund der Platzierung sondern auch aufgrund der Strahlen und der Dreiecke errechnet werden, ist es möglich, solche Bereiche zu kennzeichnen. In vielen Fällen ist der Anwender nur an den genauen Scan-Resultaten für bestimmte kritische Merkmale des Probestücks interessiert. In diesem Fall benötigt man Werkzeuge, die es erlauben diese kritischen Merkmale auszuwählen, beispielsweise Bohrlöcher, und so Platzierungen zu berechnen, die für nur diese Merkmale verwendbar sind.



Diese Auswahl solcher bestimmter Merkmale des Probestücks erfolgt mittels achsparalleler Auswahlboxen, um das interessierende Merkmal zu markieren. Der Anwender kann neue Boxen hinzufügen, bestehende auswählen und wieder löschen. Die Größe der Boxen kann mit Schiebern geändert werden.

Nachdem der Satz der Auswahlboxen spezifiziert ist, finden alle Parameterberechnungen nur für jene (Dreiecks-)Flächen des geometrischen Modells des Probestücks statt, die innerhalb der Auswahlboxen liegen. Nur jene Strahlen, die Auswahlboxen schneiden, werden während des Ray-castings verarbeitet und nur jene (Dreiecks-)Flächen, die vollständig innerhalb einer der Auswahlboxen liegen, werden für die Radonraum Untersuchung verwendet.

Um die Resultate der Untersuchung des Radonraumes sichtbar zu machen werden jene Bereiche, die außerhalb des Torus des gemessenen Radonraums liegen, farblich gekennzeichnet. Die Färbung der Problemflächen auf dem geometrischen 3D-Modell eines regelmäßigen Aluminiumtestteils - entwickelt von Kasperl - ist in Fig. 12 gezeigt.

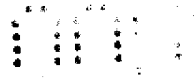
Eine weitere nützliche Funktion stellt der Aufbau von Histogrammen der Parameterverteilungen der Strahlen dar, wie aus Fig. 13 hervor geht. Um ein Histogramm zu erstellen, müssen die entsprechende Projektion spezifiziert und die entsprechenden Parameter ausgewählt werden. Solche Histogramme sind nützlich, wenn festgestellt werden soll, wie viele Strahlen die Durchstrahlungslänge einer bestimmten Größe haben. Histogramme erlauben auch zu erkennen, wie gleichmäßig die Strahlen für den gewählten Parameter verteilt sind, beispielsweise dass die meisten Strahlen eine niedrige Durchstrahlungslänge und nur wenige eine hohe Durchstrahlungslänge haben, oder dass die meisten Durchstrahlungslängen in so einem engen Bereich liegen, dass die Projektion als gut für die Abtastgenauigkeit gelten kann.

Gibt es andererseits eine Anzahl von Strahlen mit hohen Durchstrahlungslängen oder alle Durchstrahlungslängen sind gleichverteilt, dann kann die Projektion wesentliche Abweichungen verursachen und die Platzierung, die diese Projektion beinhaltet, sollte nicht für die 3DCT Abtastung verwendet werden.

Oft zeigen die Histogramme der Durchstrahlungslängen nicht alle Informationen, die erforderlich wären, um eine korrekte Entscheidung zu treffen. Um kritische Bereiche des Probestücks festzustellen werden problematische Strahlen mit Durchstrahlungslängen einer be-



stimmten Größe visualisiert. Der Anwender spezifiziert eine Projektion und einen Bereich von Durchstrahlungslängen, die von Interesse sind. Jene Strahlen, die diesen Durchstrahlungslängen entsprechen, werden auf der 3D Ansicht mit halbtransparenten Linien sichtbar gemacht. Die entsprechenden Detektorpunkte werden hervorgehoben, wie aus Fig. 14 ersichtlich. Diese Visualisierung stellt jene Bereiche des Probestücks mit hohen Durchstrahlungslängen dar und zeigt die entsprechenden Regionen auf dem Detektor oder dem resultierenden Bild.



Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der optimalen Objektlage in einer 3D-Computertomografie, mit folgenden Schritten:
Bereitstellen von simulierten Daten eines 3D Oberflächenmodells (7) eines Messobjekts (4);
Errechnen von simulierten Daten, die einer simulierten Durchstrahlung mittels Röntgenstrahlen (2) des 3D-Oberflächenmodells (7) des Messobjekts (4) entsprechen; und
Verwenden dieser simulierten Daten zum Berechnen der Länge des Strahlenweges (6) im Messobjekt (4), der Bestimmung der Stabilität der Positionierung und der Untersuchung des zugehörigen Radon-Raumes (9).
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass mittels eines Simulationsverfahrens für CT-Systeme die visuelle Analyse der Positionierung des Messobjekts (4) aufgrund seines geometrischen 3D-Modells (7) erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Analyse des Messobjekts (4) vor der eigentlichen CT- Messung benutzt wird, um die optimale Positionierung des Messobjekts (4) im Strahlengang vorab festzulegen.
4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Simulationsverfahren abhängig von der jeweiligen Positionierung des Messobjekts (4) im Strahlengang die maximale Durchstrahlungslänge des Messobjekts (4), sowie die mittlere Durchstrahlungslänge des Messobjekts (4) errechnet werden und berechnet wird, ob die generierten Projektionsdaten im Radon-Raum (9) in einem guten Bereich oder in einem schlechten Bereich liegen.
5. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass mittels eines Rechenmodells, das eine 3DCT-Aufnahme mit Ray-casting simuliert und eine Analyse der erhaltenen Daten erlaubt, die Untersuchung der Durchstrahlungslänge (6), des Radonraums (9) und die Stabilität der Positionierung erfolgen, und daraus die Selektion nach ausgewählten Merkmalen, die Farbkennzeichnung schwieriger Bereiche, der

Aufbau von Verteilungs-Histogrammen und das Sichtbarmachen schlechter Durchgriffe berechnet und visuell dargestellt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Analysesystem vorgesehen ist, dass der Anwender die Variationsbreite und die Anzahl der Proben für beide Euler Winkel α und β frei spezifizieren kann.

2010 05 25


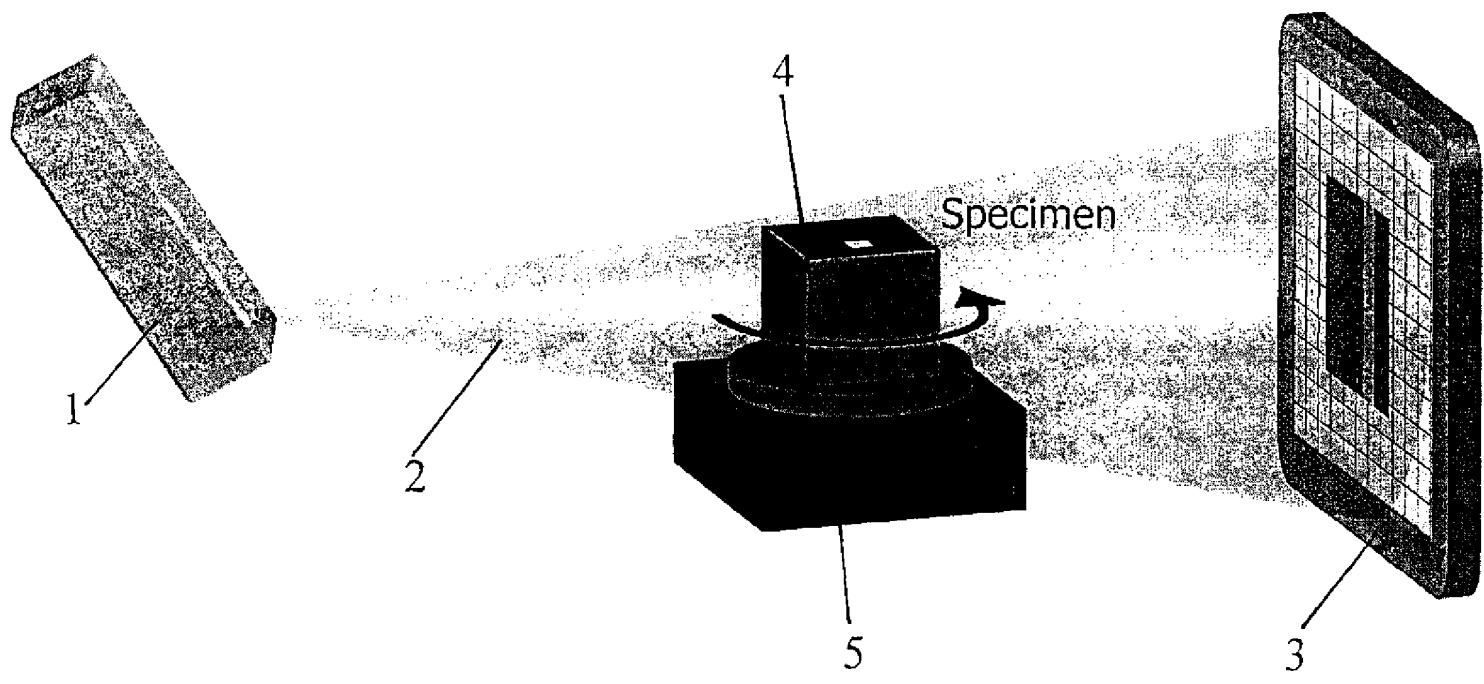
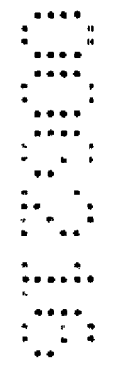
367 
Patentanwalt
Dipl.-Ing. Mag. Michael Babejuk
A-1150 Wien, Mariahilfer Gürtel 39/17
Tel.: (+43 1) 892 89 33-0 Fax: (+43 1) 892 89 333
E-Mail: michael.babejuk@patentanwalt.at



Fig. 1



NACHGEREICHT



00015

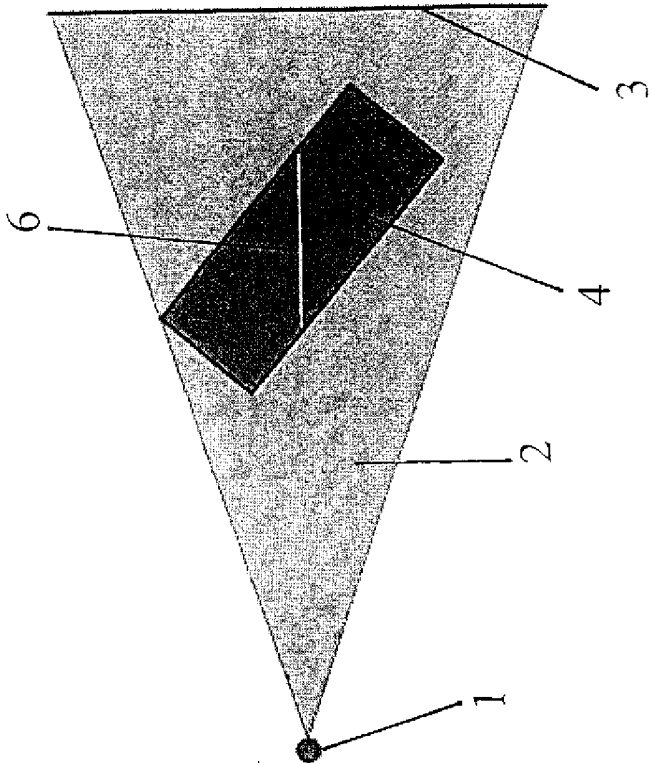


Fig. 3

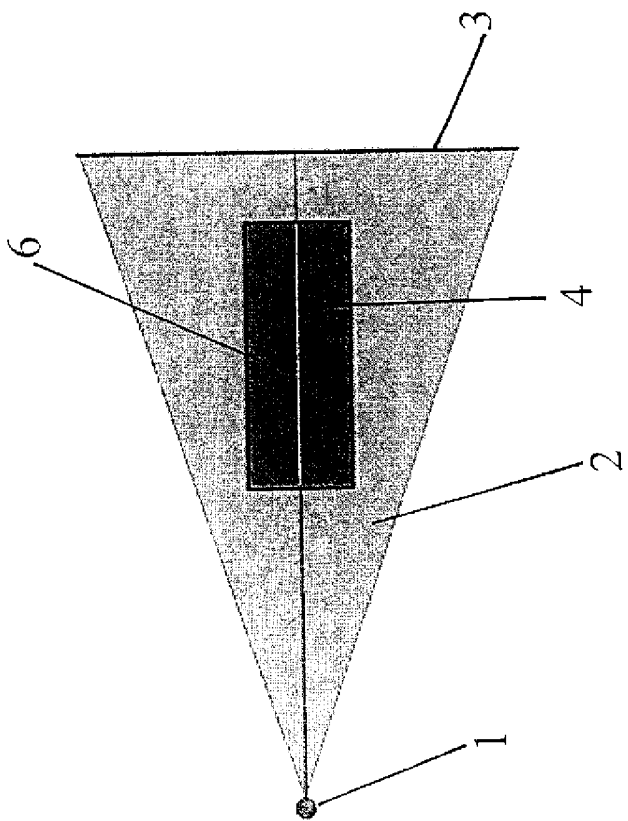


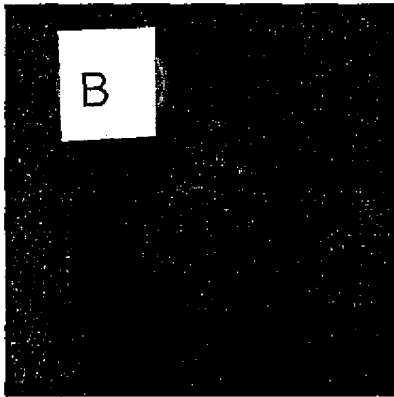
Fig. 2

NACHGEREICHT

Ray caster view

Model and data file

Render av. dip ang. as color



Current model: C:/Artem/DreamCaster/datasets/Tp09_Catia_File_4.stl

Current set: -

Parameters and statistics

Set of renderings: Single render

Model position: Model rotation

x: 0.00000

y: 0.00000

z: 0.00000

Set's position

current X: 0.00000

current Y: 0.00000

current Z: 0.00000

Grab from 3D

Render View

Fig. 4

Statistics

Parameter: av. penetr.

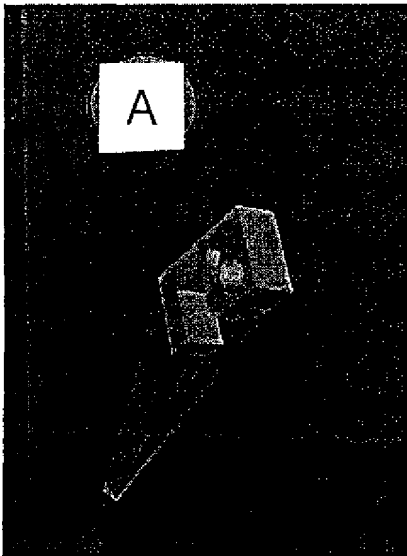
Show results

update views when picking

Projection: 2

automatically update view

3D View



Average value statistics

Histograms

Show rays/angles

Weighting

Comparison

Areas of interest

Update

X rotati 0.7

X index: 7

Model position

Parameter

Y rotati 0.1333

Y index: 2

x: 0

Of rendering: 20.4194

Z rotati 0.9

Z index: 9

y: 0

Of rotation: 24.0375

z: 0

update on mouse move with pressed button

Sensitivity: 7.95348

0 15.5868

Resolution: value

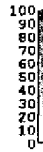
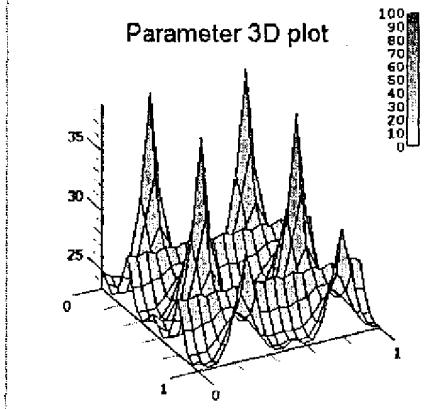
4 20

3D plot

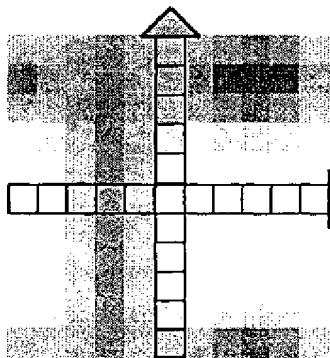
Color map

C

Parameter 3D plot



Stability



Low Cut: 0

NACHGEREICHT

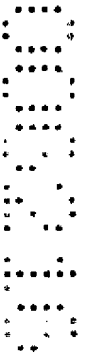
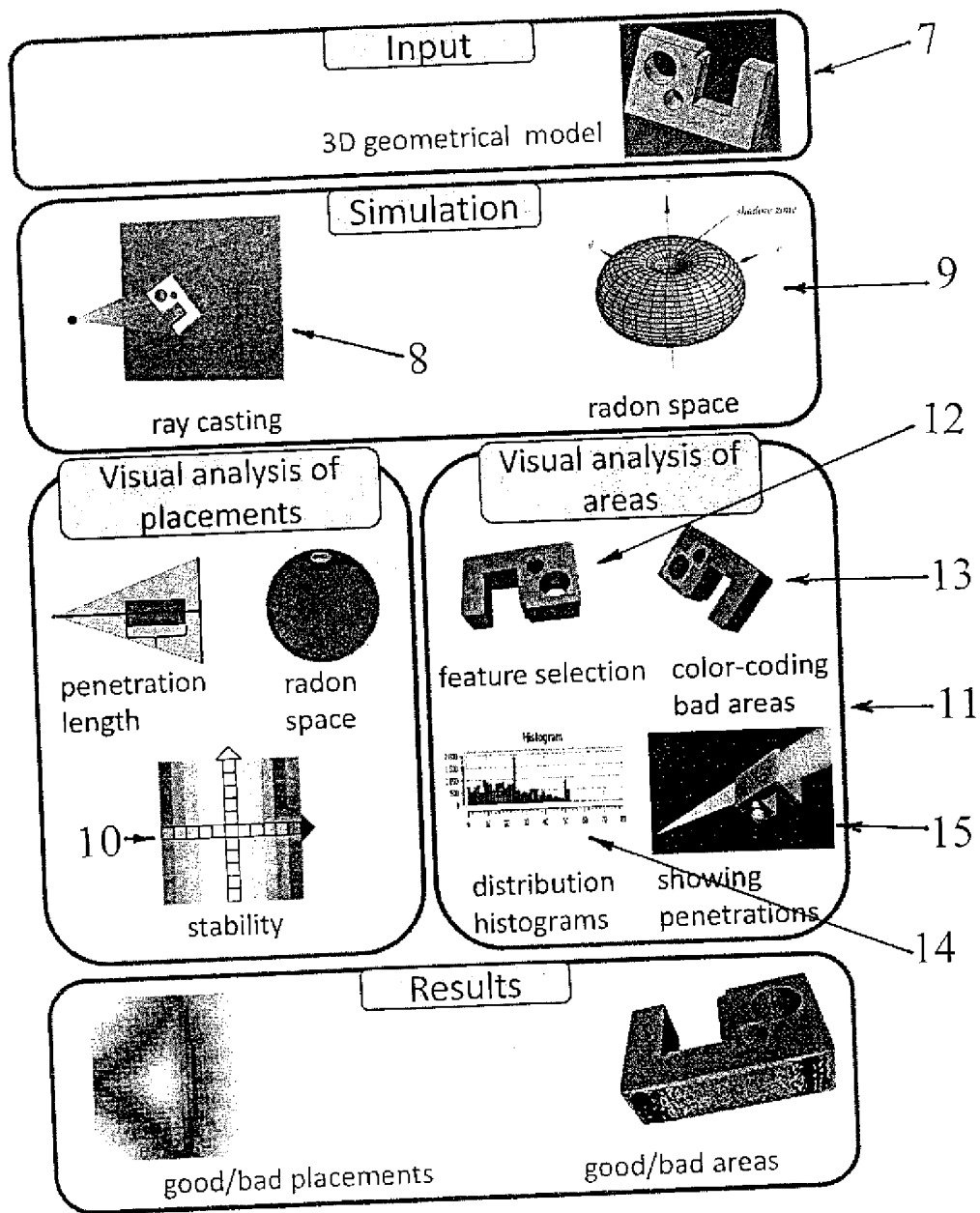


Fig. 5



005215

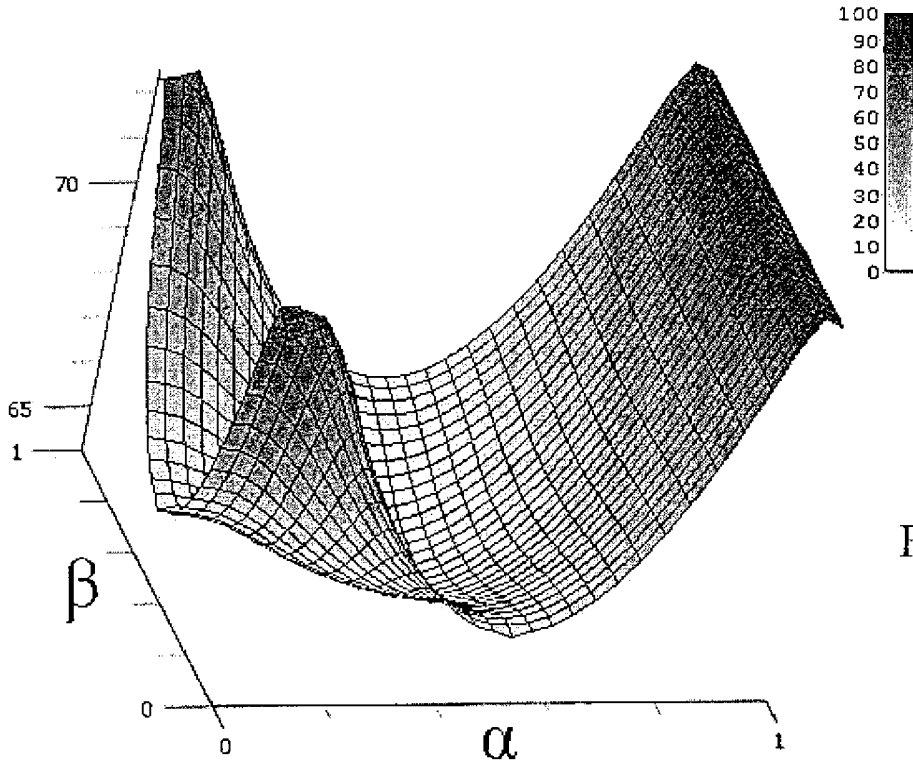


Fig. 7

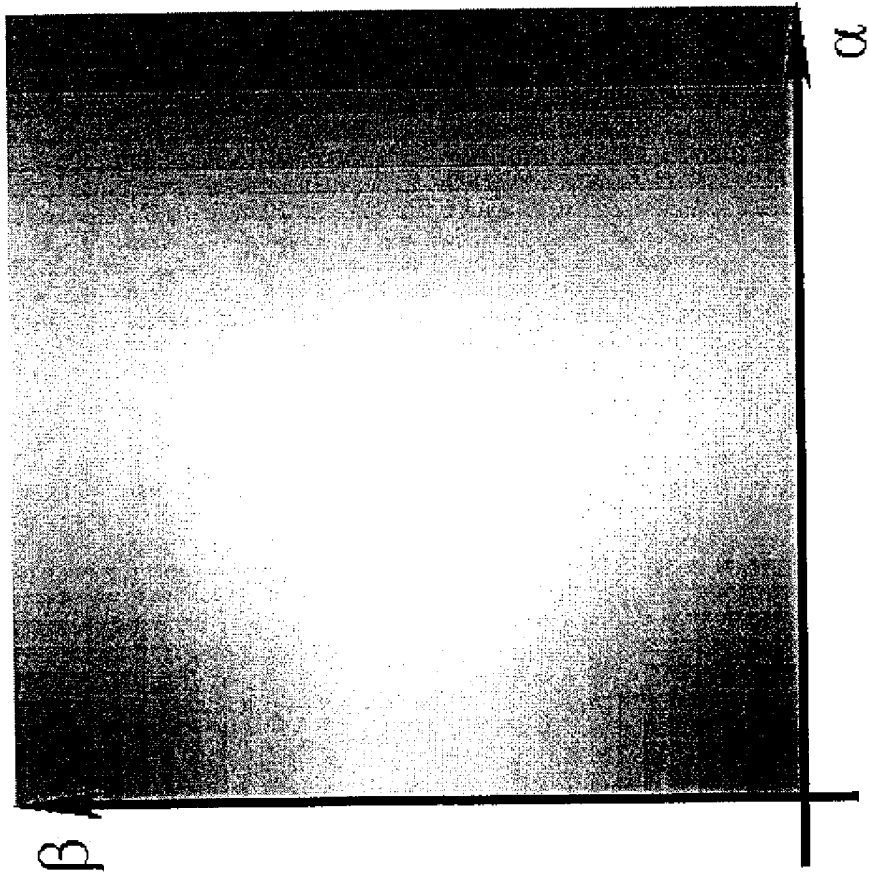


Fig. 6

NACHGEREICHT

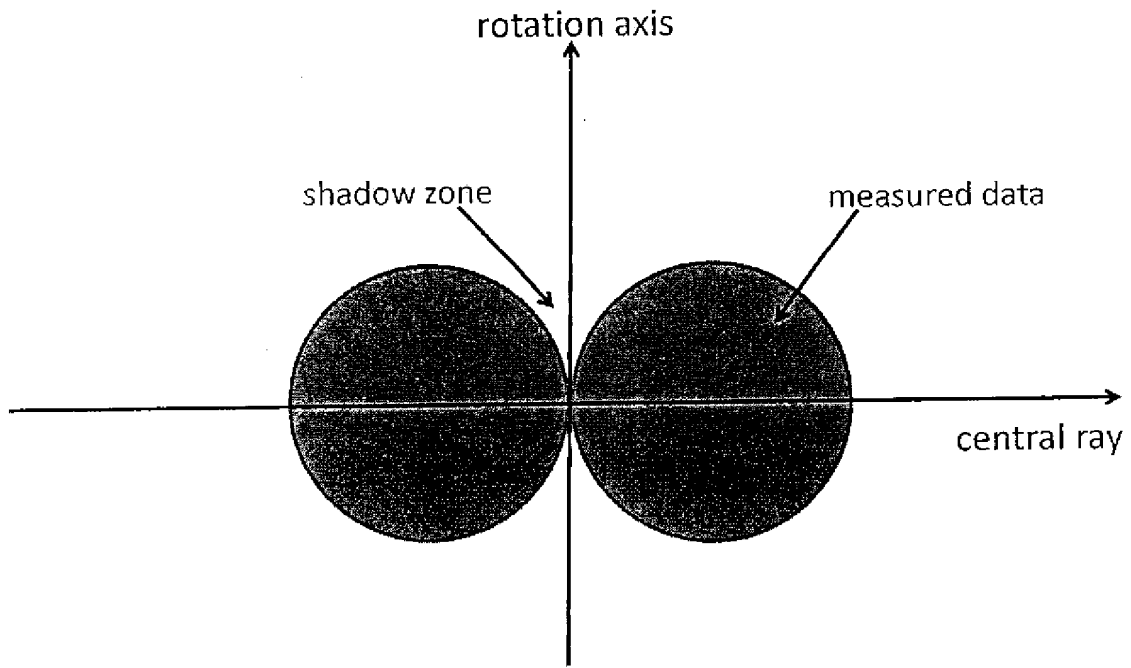


Fig. 8



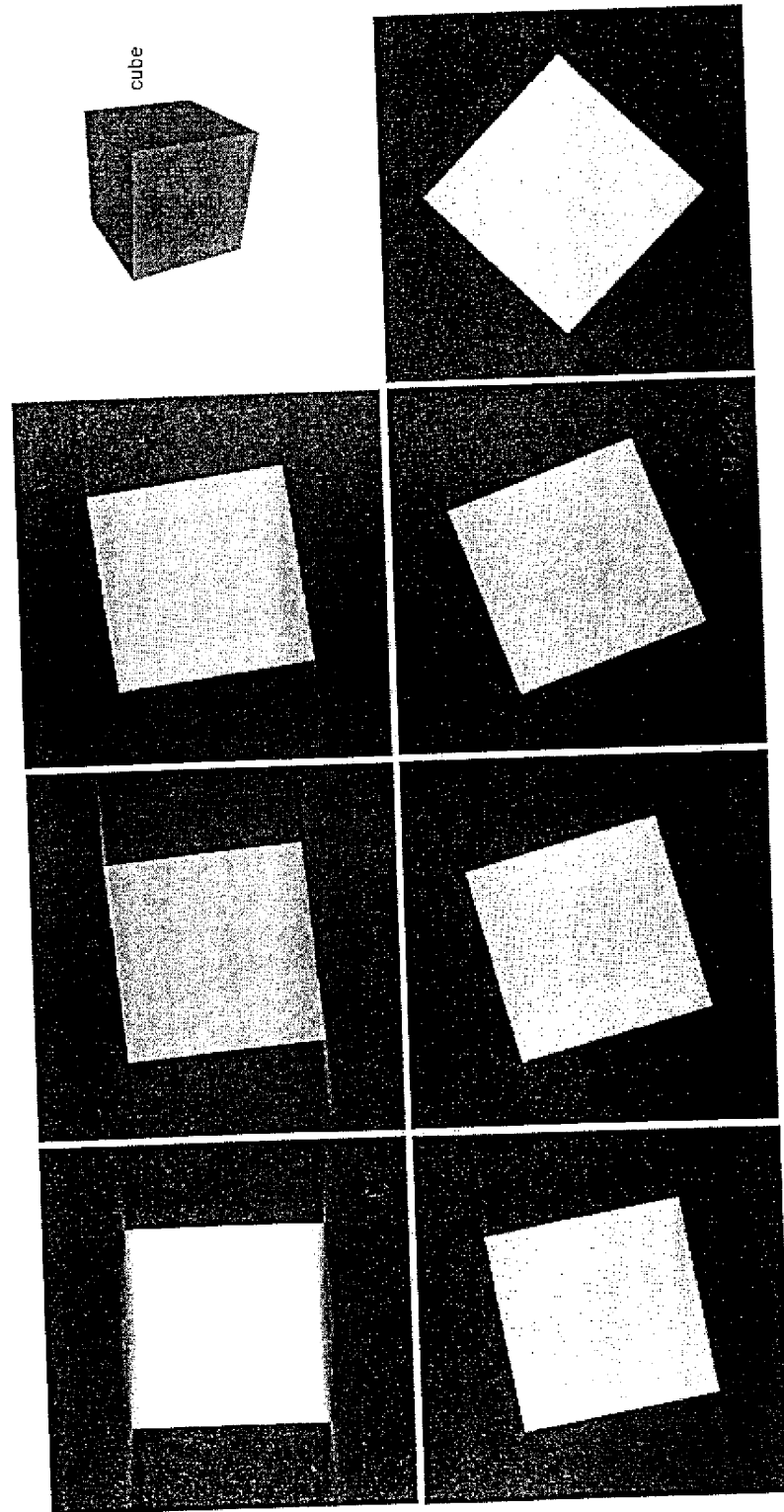


Fig. 9

Fig. 11

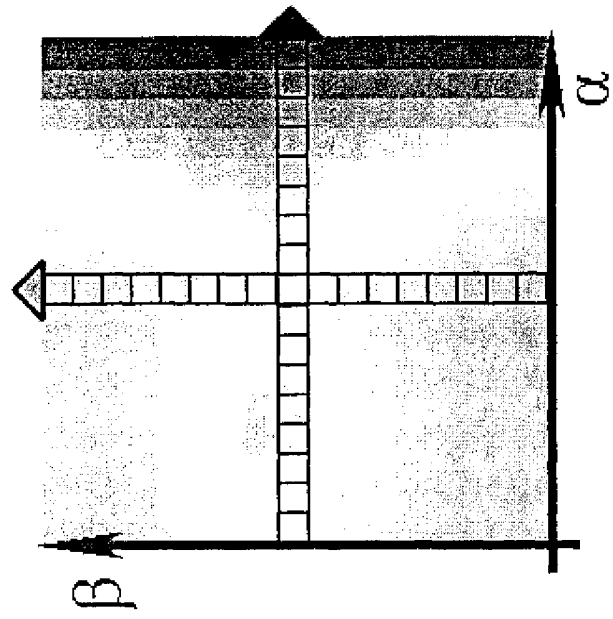
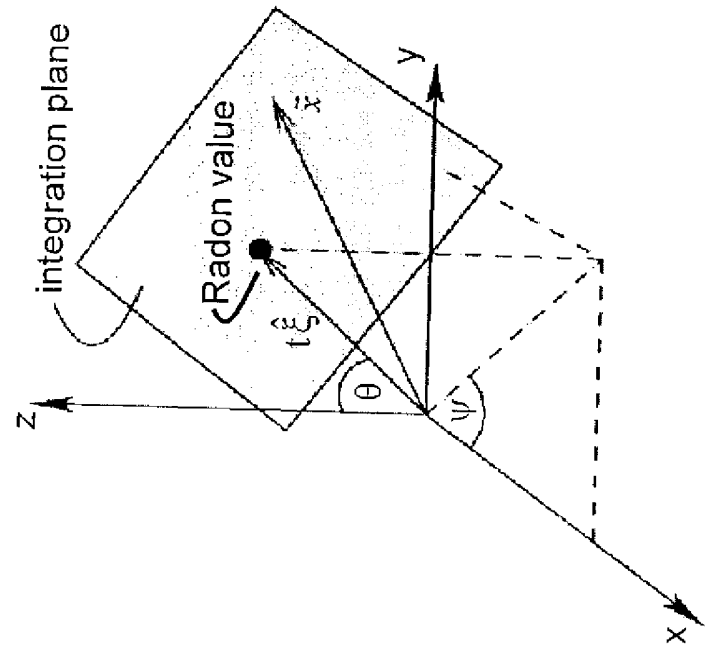


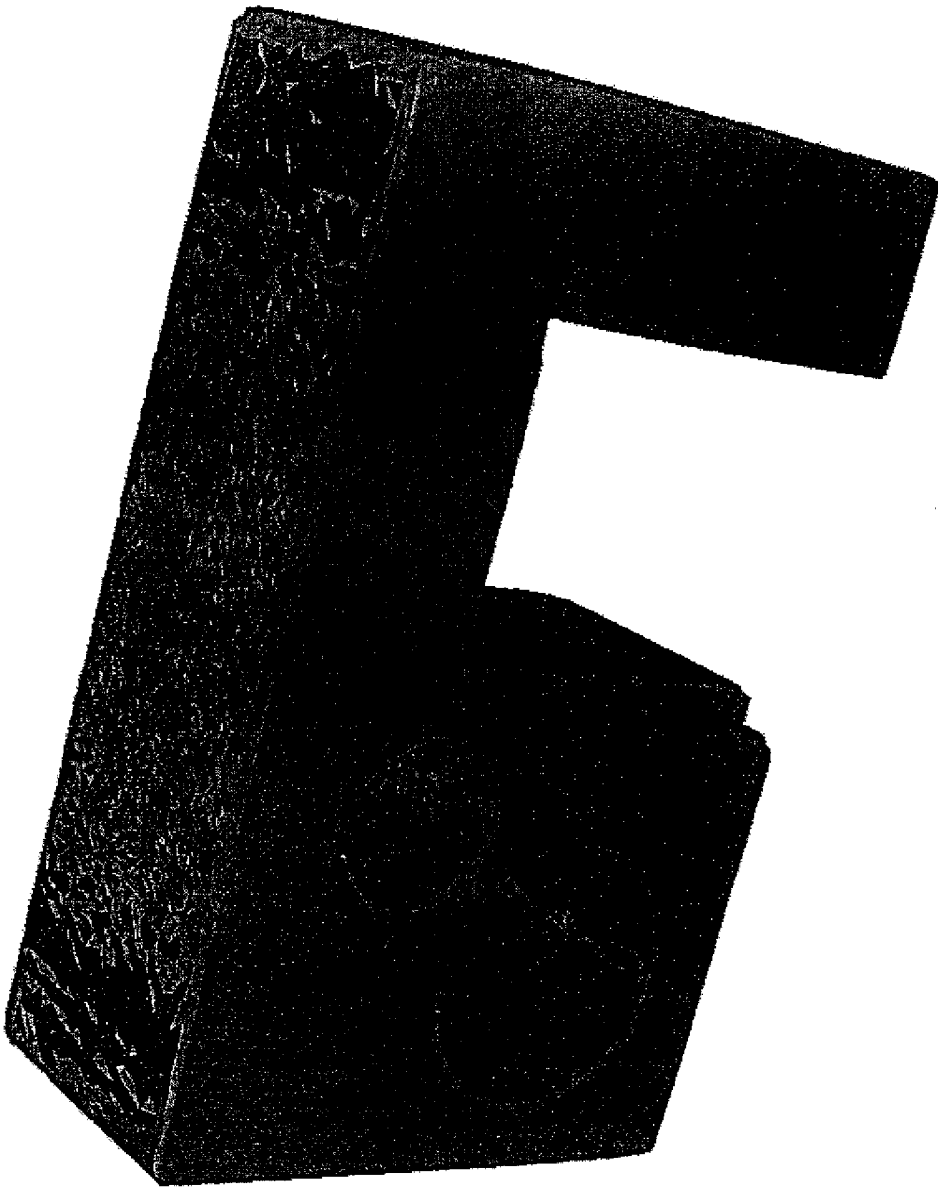
Fig. 10



NACHGEREICHT

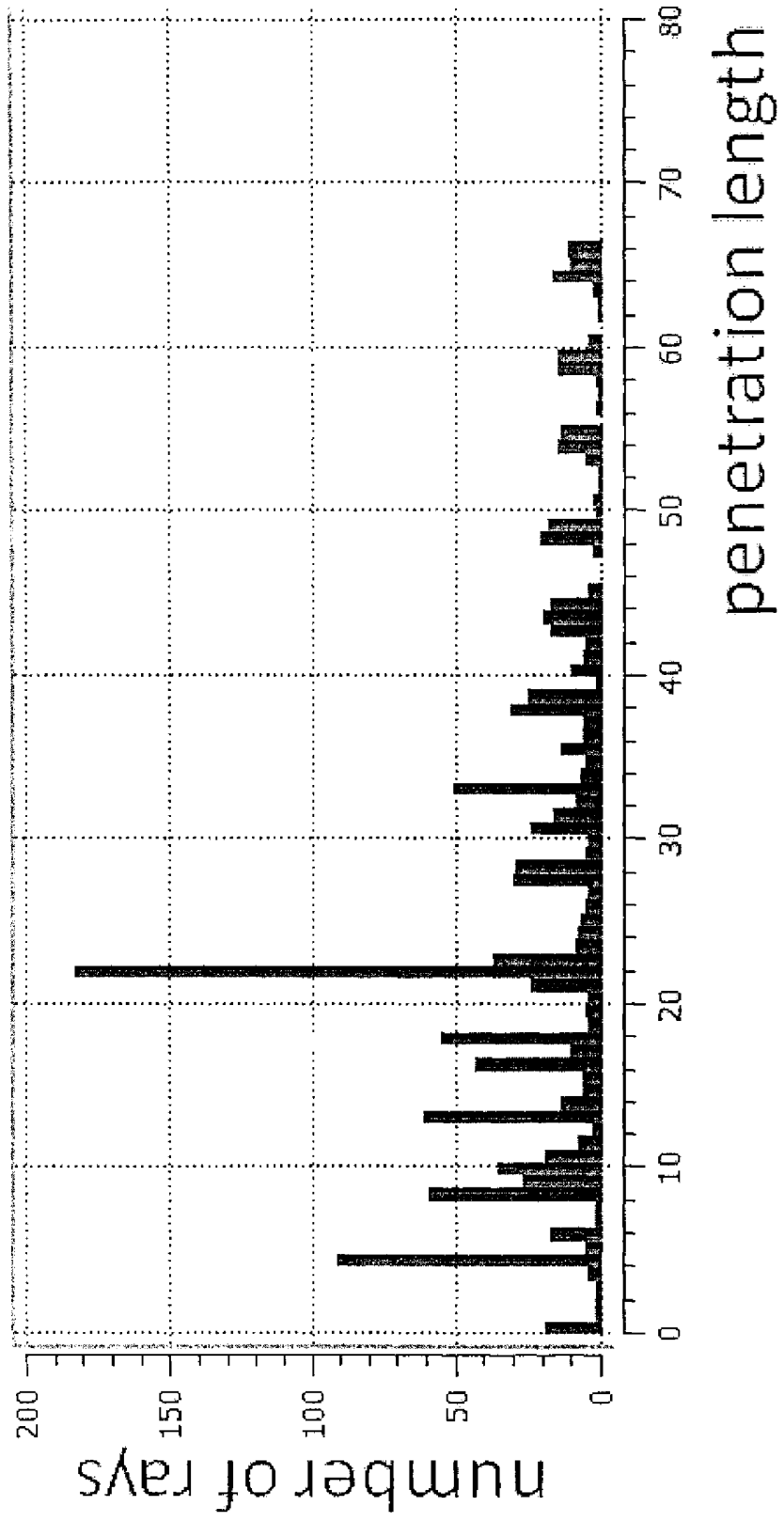
00015

Fig. 12



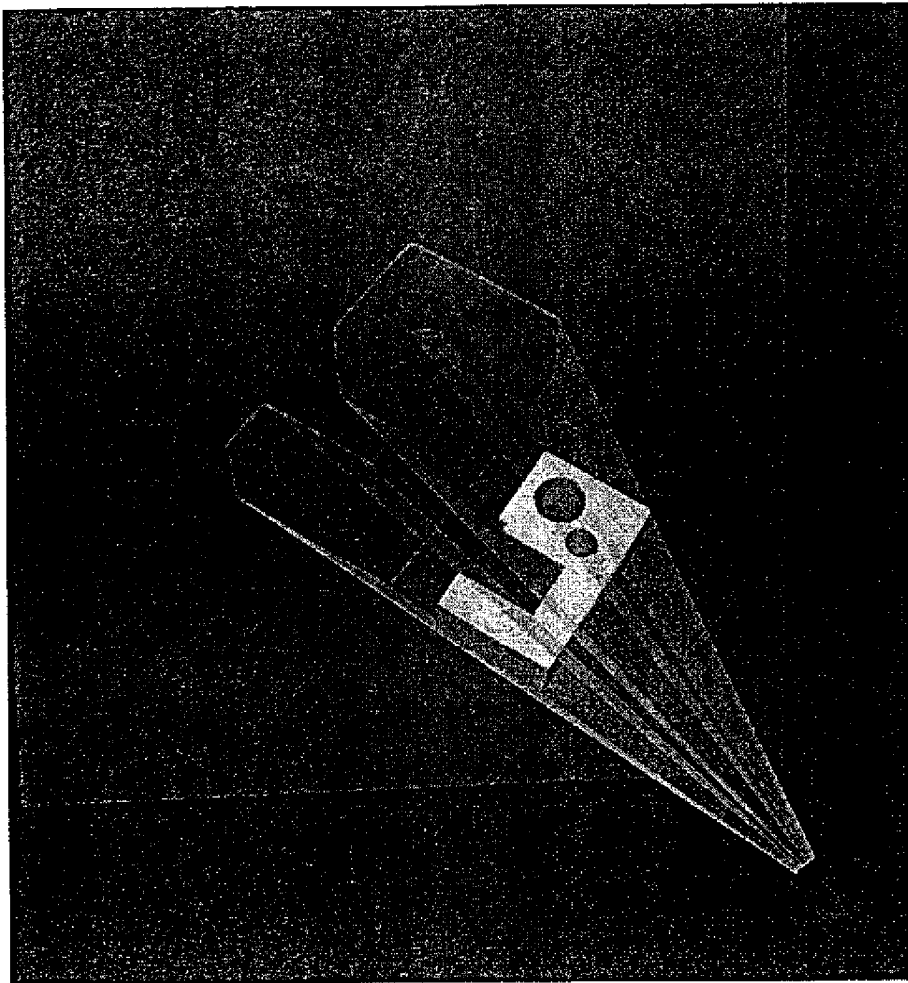
NACHGEREICHT

Fig. 13



00010

Fig. 14



NACHGEREICHT

(n e u e) P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Verfahren zur Bestimmung der optimalen Objektlage in einer 3D-Computertomografie, mit folgenden Schritten:
 - Bereitstellen von simulierten Daten eines 3D Oberflächenmodells (7) eines Messobjekts (4);
 - Errechnen von simulierten Daten, die einer simulierten Durchstrahlung mittels Röntgenstrahlen (2) des 3D-Oberflächenmodells (7) des Messobjekts (4) entsprechen;gekennzeichnet durch das Verwenden dieser simulierten Daten zum Berechnen der Länge des Strahlenweges (6) im Messobjekt (4), der Bestimmung der Stabilität der Positionierung und der Untersuchung des zugehörigen Radon-Raumes (9) und dadurch, dass mittels eines Simulationsverfahrens für CT-Systeme die visuelle Analyse der Positionierung des Messobjekts (4) aufgrund seines geometrischen 3D-Modells (7) erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass aufgrund der berechneten Daten eine Optimierung durchgeführt wird, wobei die Analyse des Messobjekts (4) vor der eigentlichen CT- Messung benutzt wird, um die optimale Positionierung des Messobjekts (4) im Strahlengang vorab festzulegen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass im Simulationsverfahren abhängig von der jeweiligen Positionierung des Messobjekts (4) im Strahlengang die maximale Durchstrahlungslänge des Messobjekts (4), sowie die mittlere Durchstrahlungslänge des Messobjekts (4) errechnet werden und berechnet wird, ob die generierten Projektionsdaten im Radon-Raum (9) in einem guten Bereich oder in einem schlechten Bereich liegen.
4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass mittels eines Rechenmodells, das eine 3DCT-Aufnahme mit Ray-casting simuliert und eine Analyse der erhaltenen Daten erlaubt, die Untersuchung der Durchstrahlungslänge (6), des Radonraums (9) und die Stabilität der Positionierung erfolgen, und daraus die Selektion nach ausgewählten Merkmalen, die Farbkennzeichnung schwieriger Bereiche, der Aufbau von

NACHGEREICHT



Verteilungs-Histogrammen und das Sichtbarmachen schlechter Durchgriffe berechnet und visuell dargestellt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass im Analysesystem vorgesehen ist, dass der Anwender die Variationsbreite und die Anzahl der Proben für beide Euler Winkel α und β frei spezifizieren kann.

2011 06 30

Ba

Patentanwalt
Dipl.-Ing. Klaus Michael Babeluk
A-1150 Wien, Mergellgasse 10/11, 1150
E-Mail: k.michael@patentanwalt.at
www.patentanwalt.at

NACHGEREICHT

Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß IPC: G21K 1/12 (2006.01); G06T 11/00 (2006.01); A61B 6/03 (2006.01); H05G 1/04 (2006.01)		
Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß ECLA: G21K 1/12; G06T 11/00T; A61B 6/03B16; H05G 1/04		
Recherchiertes Prüfobjekt (Klassifikation): A61B, G01N, G21K, G06T, H05G		
Konsultierte Online-Datenbank: WPI, EPDOC		
Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 25. Mai 2010 eingereichten Ansprüchen 1-6 erstellt.		
Kategorie ¹⁾	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	WO 200231767 A2 (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FOERDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.) 18. April 2002 (18.04.2002) Seite 4, Zeilen 13-37; Seite 9, Zeilen 20-27	1, 3
A		2, 4-6
A	WO 2006094493 A2 (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FOERDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.) 14. September 2006 (14.09.2006) Anspruch 10	1-6
Datum der Beendigung der Recherche: 17. Februar 2011		<input type="checkbox"/> Fortsetzung siehe Folgeblatt
		Prüfer(in): FUSSY S.
¹⁾ Kategorien der angeführten Dokumente:		
X	Veröffentlichung von besonderer Bedeutung : der Anmeldegegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.	A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert.
Y	Veröffentlichung von Bedeutung : der Anmeldegegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist.	P Dokument, das von Bedeutung ist (Kategorien X oder Y), jedoch nach dem Prioritätstag der Anmeldung veröffentlicht wurde.
		E Dokument, das von besonderer Bedeutung ist (Kategorie X), aus dem ein älteres Recht hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
		& Veröffentlichung, die Mitglied der selben Patentfamilie ist.