



(10) **DE 10 2017 216 953 A1** 2019.03.28

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 216 953.2**

(22) Anmeldetag: **25.09.2017**

(43) Offenlegungstag: **28.03.2019**

(51) Int Cl.: **G06K 9/32 (2006.01)**

(71) Anmelder:
Siemens Healthcare GmbH, München, DE

(72) Erfinder:
Mayer, Hermann Georg, 83209 Prien, DE;
Schweizer, Hans, 94447 Plattling, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US 8 147 503 B2

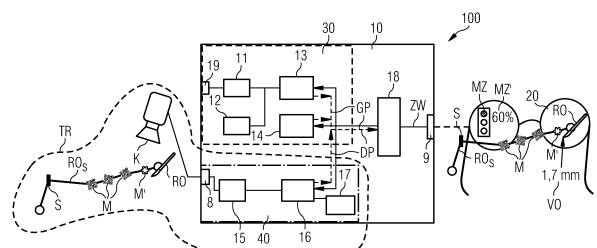
SIELHORST, Tobias; FEUERSTEIN, Marco;
NAVAB, Nassir. Advanced medical displays: A
literature review of augmented reality. Journal of
Display Technology, 2008, 4. Jg., Nr. 4, S. 451-467

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Anzeige eines mit einem realen Objekt verknüpften virtuellen Objekts in einer Augmented-Reality-Anzeigevorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zur Positionsbestimmung eines realen Objekts (RO) und Anzeige eines mit dem realen Objekt (RO) verknüpften virtuellen Objekts (VO) in einer Augmented-Reality-Anzeigevorrichtung (20) beschrieben. Dazu wird mittels eines Tracking-Systems (TR) zu verschiedenen aufeinander folgenden Messzeitpunkten eine Position des realen Objekts (RO) detektiert und für die Messzeitpunkte jeweils eine geschätzte Position (GP) berechnet. Auf Basis der detektierten Position (DP) des realen Objekts (RO) und der geschätzten Position (GP) des realen Objekts (RO) wird ein Zuverlässigkeitswert (ZW) ermittelt und in der Augmented-Reality-Anzeigevorrichtung (20) visualisiert. Ferner offenbart das vorliegende Verfahren ein entsprechendes Augmented-Reality-System (100) mit einer Augmented-Reality-Anzeigevorrichtung (20) zur Anzeige eines realen Objekts (RO) und eines mit dem realen Objekt (RO) verknüpften virtuellen Objekt (VO).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Positionsbestimmung eines realen Objekts und Anzeige eines mit dem realen Objekt verknüpften virtuellen Objekts in einer Augmented-Reality-Anzeigevorrichtung (im Folgenden auch „AR-Anzeigevorrichtung“) eines Augmented-Reality-Systems (im Folgenden auch „AR-System“). Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein solches AR-System mit einer entsprechenden AR-Anzeigevorrichtung.

[0002] Bei einer Augmented-Reality-Anwendung (Augmented Reality wird im Allgemeinen und daher ebenso im Folgenden auch als „AR“ abgekürzt) werden reale Objekte mit virtuellen Daten (virtuellen Objekten) überlagert und in einer Anzeige dargestellt. Die visuelle Darstellung der überlagerten Daten kann dabei z. B. über einen Bildschirm oder eine Datenbrille erfolgen. Um die überlagerten Daten möglichst exakt mit einem realen Objekt zu verknüpfen und um damit einen möglichst hohen Immersionsgrad, welcher den Eindruck des realitätsnahen Eintauchens in die virtuelle Realität beschreibt, zu erreichen, ist es wichtig die exakte Position des realen Objekts im Raum zu bestimmen. Daher muss beispielsweise bei dynamischen Anzeigen die Position des realen Objekts in ständiger Abfolge bestimmt und aktualisiert werden. Diese Objektverfolgung wird oft auch als „Tracken“ bezeichnet. Zum Tracken wird meist ein Kamerasystem genutzt.

[0003] Solche AR-Systeme werden bereits häufiger in moderneren Computerspielen eingesetzt. Darüber hinaus gibt es inzwischen auch wissenschaftliche Anwendungen oder Anwendungen im industriellen Bereich. Denkbar wäre auch eine Nutzung im medizinischen Bereich, beispielsweise um bei einer Operation dem Operateur zusätzliche Informationen zu seinem Werkzeug, z. B. einem Katheter oder Skalpell, zu geben und/oder um die Position eines Werkzeugs bzw. eines Werkzeugteils innerhalb des Körpers virtuell anzuzeigen.

[0004] Ein Problem bei der oben beschriebenen Positionsbestimmung des realen Objekts kann auftreten, wenn das Objekt temporär verdeckt wird. Solch eine Verdeckung kann beispielsweise während einer Operation auftreten, wenn das zu trackende reale Objekt durch umliegendes Gewebe oder durch die beengte Situation während einer Operation verdeckt und somit falsch oder gar nicht vom Kamerasystem detektiert wird. Dadurch ist es nicht mehr möglich, das reale Objekt mit virtuellen Daten zu überlagern oder es kann passieren, dass die virtuellen Daten an einer falschen Position im Raum angezeigt werden. Dieses würde den Immersionsgrad verringern und kann bei bestimmten Anwendungen, wie beispielsweise bei einer Operation, sehr ungünstig sein. Bei solch einer Anwendung sollte sich der Benutzer sehr

genau auf die Anzeige in der AR-Anwendung verlassen können.

[0005] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Verfahren sowie ein Augmented-Reality-System zur Verfügung zu stellen, welches die zuvor genannte Problematik adressiert.

[0006] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Patentanspruch 1 und durch ein Augmented-Reality-System gemäß Patentanspruch 13 gelöst.

[0007] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Positionsbestimmung eines realen Objekts und der Anzeige eines mit dem realen Objekt verknüpften virtuellen Objekts in einer AR-Anzeigevorrichtung, beispielsweise einer Brille oder einem Bildschirm, detektiert mittels eines Tracking-Systems zu verschiedenen aufeinander folgenden Messzeitpunkten, vorzugsweise in regelmäßigen Zeitabständen wiederholten Messungen, eine Position des realen Objekts. Für diese Messzeitpunkte wird zusätzlich jeweils eine geschätzte Position des realen Objekts berechnet. Auf Basis der detektierten Position und der (durch den Messzeitpunkt der detektierten Position jeweils zugeordneten) geschätzten Position des realen Objekts wird ein Zuverlässigkeitswert (auch Plausibilitätswert genannt) ermittelt und in der AR-Anzeigevorrichtung visualisiert.

[0008] Dieser Zuverlässigkeitswert kann dabei durch einen Vergleich der detektierten Position und der zugehörigen geschätzten Position des realen Objekts zu den entsprechenden Messzeitpunkten ermittelt werden. Er kann also indirekt angeben inwieweit diese beiden Positionen im Raum übereinstimmen.

[0009] Ein Zuverlässigkeitswert ZW in % könnte hierzu in einem einfachen Fall z. B. wie folgt berechnet werden:

$$ZW = 100\% - 100\% \cdot (F_{\text{Max}} / D)$$

[0010] D ist dabei die Distanz zwischen der geschätzten Position und der detektierten Position, und F_{Max} der maximale Fehler, der dabei abhängig von der Anwendung, die in der AR-Anzeigevorrichtung angezeigt wird, definiert werden kann. Für die Distanz D und den maximalen Fehler F_{Max} kann dabei eine beliebige Metrik (Abstandsfunktion) verwendet werden, solange bei beiden dieselbe Metrik verwendet wird.

[0011] Hierbei wird angenommen, dass je größer die Übereinstimmung der detektierten und geschätzten Position des realen Objekts ist, desto größer auch die Wahrscheinlichkeit ist, dass die detektierte Position des realen Objekts mit der tatsächlichen Position des realen Objekts übereinstimmt.

[0012] Ist diese Übereinstimmung sehr groß, so ist auch der Grad an Immersion sehr hoch, da das virtuelle Objekt indirekt über die detektierte Position des realen Objekts mit dem realen Objekt verknüpft ist. Weicht nun die tatsächliche Position des realen Objekts von der detektierten Position des realen Objekts stark ab, so weicht auch das virtuelle Objekt stark von der Position des realen Objekts ab. Dies führt dann wiederum zu einem niedrigeren Grad an Immersion für einen Anwender der AR-Anzeigevorrichtung.

[0013] Hierbei wird also berücksichtigt, dass auch beim Tracken, selbst wenn eine Detektion gelingt, Messungenauigkeiten und Messfehler auftreten können. Andererseits ist wie eingangs erwähnt eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass die Position des virtuellen Objekts mit der tatsächlichen Position des realen Objekts übereinstimmt, bei vielen Anwendungen von Bedeutung. Durch die Berechnung des Zuverlässigkeitswerts kann nun indirekt die Zuverlässigkeit der durch das Tracking-System detektierten Position des realen Objekts mit Hilfe der geschätzten Position des realen Objekts überprüft bzw. zumindest abgeschätzt werden.

[0014] Diese Überprüfung der detektierten Position des realen Objekts kann vorteilhafterweise quasi kontinuierlich erfolgen und anhand Zuverlässigkeitswert bzw. Plausibilitätswert in der Anzeige der AR-Anzeigevorrichtung permanent visualisiert werden. Somit kann der Anwender selbst entscheiden, inwieweit er der Position des virtuellen Objekts, bzw. der durch das Tracking-System detektierten Position des realen Objekts, vertrauen möchte.

[0015] Das erfindungsgemäße Augmented-Reality-System weist zunächst eine Augmented-Reality-Anzeigevorrichtung zur Anzeige eines realen Objekts und eines mit dem realen Objekt verknüpften virtuellen Objekts auf.

[0016] Weiterhin umfasst das Augmented-Reality-System eine Rechneinheit, die zu verschiedenen aufeinander folgenden Messzeitpunkten jeweils eine geschätzte Position des realen Objekts berechnet.

[0017] Zudem umfasst sie eine Auswerteeinheit, welche auf Basis der geschätzten Position und einer durch ein Tracking-System detektierten Position, einen Zuverlässigkeitswert bzw. Plausibilitätswert ermittelt und dafür sorgt, dass der Zuverlässigkeitswert in der Augmented-Reality-Anzeigevorrichtung visualisiert wird. Hierzu kann die Auswerteeinheit beispielsweise geeignete Steuerbefehle für die Augmented-Reality-Anzeigevorrichtung generieren und (beispielsweise über eine Schnittstelle) an diese ausgeben.

[0018] Das Tracking-System kann dabei mittels einer Schnittstelle mit der erfindungsgemäßen AR-An-

zeigevorrichtung verbunden sein, sie kann aber auch bereits in der AR-Anzeigevorrichtung inkludiert sein.

[0019] Ein Großteil der zuvor genannten Komponenten der Rechneinheit, insbesondere die Auswerteeinheit sowie eine Einheit zur Berechnung der geschätzten Position des realen Objekts, können ganz oder teilweise in Form von Softwaremodulen in einem Prozessor einer entsprechenden Rechneinheit realisiert werden. Eine weitgehend softwaremäßige Realisierung hat den Vorteil, dass auch schon bisher verwendete Rechneinheiten auf einfache Weise durch ein Software-Update nachgerüstet werden können, um auf die erfindungsgemäße Weise zu arbeiten. Insofern wird die Aufgabe auch durch ein entsprechendes Computerprogrammprodukt mit einem Computerprogramm gelöst, welches direkt in eine Speichereinrichtung einer Rechneinheit eines AR-Systems ladbar ist, mit Programmabschnitten, um alle Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens auszuführen, wenn das Programm in der Steuereinrichtung ausgeführt wird. Ein solches Computerprogrammprodukt kann neben dem Computerprogramm gegebenenfalls zusätzliche Bestandteile wie z. B. eine Dokumentation und/oder zusätzliche Komponenten auch Hardware-Komponenten, wie z.B. Hardware-Schlüssel (Dongles etc.) zur Nutzung der Software, umfassen

[0020] Zum Transport zur Rechneinheit und/oder zur Speicherung an oder in der Rechneinheit kann ein computerlesbares Medium, beispielsweise ein Memorystick, eine Festplatte oder ein sonstiger transportabler oder fest eingebauter Datenträger dienen, auf welchem die von einer Rechneinheit des AR-Systems einlesbaren und ausführbaren Programmabschnitte des Computerprogramms gespeichert sind. Die Rechneinheit kann z.B. hierzu einen oder mehrere zusammenarbeitende Mikroprozessoren oder dergleichen aufweisen.

[0021] Weitere, besonders vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung, wobei die unabhängigen Ansprüche einer Anspruchskategorie auch analog zu den abhängigen Ansprüchen und Beschreibungsteilen zu einer anderen Anspruchskategorie weitergebildet sein können und insbesondere auch einzelne Merkmale verschiedener Ausführungsbeispiele bzw. Varianten zu neuen Ausführungsbeispielen bzw. Varianten kombiniert werden können.

[0022] Die Visualisierung des bereits beschriebenen Zuverlässigkeitswerts in der AR-Anzeigevorrichtung kann auf unterschiedlichste Weise erfolgen.

[0023] Beispielsweise können hierzu bevorzugt eine oder mehrere Markierungen in der Anzeige der AR-Anzeigevorrichtung genutzt werden.

[0024] Dabei kann eine Markierung beispielsweise einem Zahlenwert entsprechen und z. B. den Zuverlässigkeitswert in Prozent angeben. Hierbei würde ein Zuverlässigkeitswert von 0% aussagen, dass die detektierte Position und die geschätzte Position des realen Objekts sehr weit voneinander entfernt liegen. Ein Zuverlässigkeitswert von 100% würde angeben, dass die detektierte Position mit der geschätzten Position des realen Objekts übereinstimmt.

[0025] Die Markierung kann aber alternativ oder zusätzlich auch farblich und/oder anhand eines Symbols dargestellt werden, wie beispielsweise eine Ampel. Durch die jeweilige Ampelschaltung kann beispielsweise angezeigt werden, ob es sich um einen hohen (oberhalb eines eingestellten Vergleichswerts/ Grenzwerts) oder niedrigen (unterhalb eines eingestellten Vergleichswerts/ Grenzwerts) Zuverlässigkeitswert handelt.

[0026] Zudem kann alternativ oder zusätzlich zur (indirekten) Visualisierung des Zuverlässigkeitswerts auch bevorzugt eine Verschiebung des virtuellen Objekts in der Anzeige der AR-Anzeigevorrichtung erfolgen. Dazu wird das virtuelle Objekt vorzugsweise zur detektierten Position des realen Objekts in Abhängigkeit vom zuvor berechneten Zuverlässigkeitswert verschoben.

[0027] Zum Beispiel kann das virtuelle Objekt bevorzugter Weise nur dann überhaupt zur detektierten Position des realen Objekts verschoben, wenn der Zuverlässigkeitswert über einem definierten Grenzwert liegt. Dieser Grenzwert wird Abhängig von der Anwendung eingestellt, in der das AR-System verwendet wird. Der Grenzwert kann aber auch dem zuvor definierten maximalen Fehler entsprechen.

[0028] Ist der Zuverlässigkeitswert kleiner als der Grenzwert, so wird das virtuelle Objekt nicht in Richtung der detektierten Position des realen Objekts verschoben. Die Anzeige des virtuellen Objekts in der AR-Anzeigevorrichtung wird daraufhin abgebrochen und das Tracken der Position des realen Objekts und die Berechnung der geschätzten Position des realen Objekts beginnt von neuem. Zusätzlich kann ein Warnhinweis, beispielsweise auch durch Visualisierung in der AR-Anzeigevorrichtung und/oder durch ein akustisches Signal, erfolgen.

[0029] Zusätzlich oder alternativ kann auch die Geschwindigkeit, mit der das virtuelle Objekt zur geschätzten Position des realen Objekts verschoben wird, vorzugsweise auf dem Zuverlässigkeitswert basieren bzw. in Abhängigkeit von diesem gewählt werden. Je höher der Zuverlässigkeitswert ist, desto schneller kann z. B. das virtuelle Objekt in Richtung der detektierten Position des realen Objekts in der Anzeige der AR-Anzeigevorrichtung verschoben werden.

[0030] Liegt der Zuverlässigkeitswert bei 100% bedeutet dies, wie bereits erwähnt, dass die geschätzte Position der detektierten Position des realen Objekts entspricht. Daraufhin wird das virtuelle Objekt sofort in Richtung der detektierten Position des realen Objekts verschoben und es herrscht ein hoher Grad an Immersion.

[0031] Ist der Zuverlässigkeitswert hingegen sehr gering (aber z. B. jedoch noch über dem zulässigen Grenzwert), so wird das virtuelle Objekt nur sehr langsam verschoben. Die Geschwindigkeit kann dabei beispielsweise so langsam sein, dass das virtuelle Objekt dabei nicht die detektierte Position des realen Objekts erreichen würde, bevor in einem darauffolgenden nächsten Messzeitpunkt die Position des realen Objekts neu detektiert wird.

[0032] Auch für die Ausgestaltung des virtuellen Objekts gibt es verschiedene Möglichkeiten, je nach Abhängigkeit von der konkreten Anwendung.

[0033] Das virtuelle Objekt kann zum Beispiel bevorzugt in der Anzeige der AR-Anzeigevorrichtung durch ein Symbol gebildet werden. Dieses Symbol kann beispielsweise einem Kreuz entsprechen, welches die Spitze eines realen Objekts, z. B. eines Skalpells, markiert.

[0034] Das virtuelle Objekt kann vorzugsweise auch eine virtuelle Darstellung des realen Objekts in der Anzeige der AR-Anzeigevorrichtung umfassen. Diese virtuelle Darstellung kann so beispielsweise eine farbliche Markierung des in der Anzeige der AR-Vorrichtung dargestellten realen Objekts bilden. Sie könnte beispielsweise eine Dehnung auf dem realen Objekt bzw. die Dehnung des realen Objekts farblich darstellen, welche z. B. mittels eines am realen Objekt angebrachten Dehnmessstreifen gemessen und an die AR-Anzeigevorrichtung übermittelte wurde. Dies kann insbesondere bei einem Skalpell interessant sein, um anzuzeigen, welcher Belastung bzw. welchem Widerstand das Skalpell bei einem Schnitt ausgesetzt ist.

[0035] Des Weiteren kann das virtuelle Objekt bevorzugt eine Information umfassen, die in Bezug zum realen Objekt steht. Diese Information kann beispielsweise einem Zahlenwert (z. B. einem Wert für eine Dehnung eines realen Objekts) entsprechen oder z. B. eine Eindringtiefe des zu trackenden realen Objekts in ein anderes Objekt, beispielsweise die Schnitttiefe die mit einem Skalpell erzeugt wurde, darstellen.

[0036] Um unter anderem die für die Ermittlung des Zuverlässigkeitswerts benötigte geschätzte Position des realen Objekts zu ermitteln, gibt es ebenfalls verschiedene Möglichkeiten.

[0037] Beispielsweise kann diese bevorzugt unter Berücksichtigung einer Anzahl von Bewegungsparametern und/ Fehlerreduzierungsverfahren berechnet werden.

[0038] Vorzugsweise basiert dabei zumindest ein Bewegungsparameter auf einer Kinematik des realen Objekts und/oder auch einer Führungsstruktur, welche mit dem realen Objekt gekoppelt ist. Die Führungsstruktur kann dabei zum Beispiel ein Körperteil oder eine Führungsvorrichtung sein. Bei dem Körperteil kann es sich zum Beispiel um einen Arm bzw. die Hand eines Chirurgen handeln, die ein reales Objekt, hier beispielsweise ein Skalpell, hält. Bei der Führungsvorrichtung könnte es sich beispielsweise um einen Arm eines Roboters oder einen anderen Mechanismus handeln, der beispielsweise Operationsbesteck führt.

[0039] Handelt es sich bei der Führungsstruktur zum Beispiel um die Hand eines Chirurgen, so kann die Kinematik beispielsweise durch eine kinematische Kette beschrieben werden, die die Freiheitsgrade des Beins, des Oberkörpers, des Arms und der Hand berücksichtigt. Liegt beispielsweise der Arm aufgestützt auf einem Tisch, so ist die Reichweite der Hand sehr viel eingeschränkter. Hier könnte sich die Hand nur noch auf einer imaginären Kugel bewegen (welche durch die Bewegung des Handgelenks entsteht), die sich wiederum auf einer vom Tisch, auf dem der Ellenbogen aufliegt, ausgehenden imaginären Halbkugel (welche durch die Bewegung des Ellenbogens entsteht) befindet.

[0040] Durch diese bekannten Bewegungsparameterwerte ist die Position des realen Objektes im Raum eingeschränkt und kann daraufhin berechnet bzw. abgeschätzt werden.

[0041] Um auch Lage- und Beschleunigungsdaten des realen Objekts in die Berechnung der geschätzten Position des realen Objekts mit einfließen zu lassen, basiert ein Bewegungsparameter vorzugsweise auch auf der Dynamik des realen Objekts und/oder der Führungsstruktur, welche mit dem realen Objekt gekoppelt ist. Die Dynamik kann dabei beispielsweise über zusätzliche Sensoren, wie beispielsweise Beschleunigungssensoren oder Hall- Sensoren, am realen Objekt bzw. an der Führungsstruktur detektiert werden.

[0042] Vorzugsweise kann die geschätzte Position des realen Objekts aber auch durch ein Fehler-Reduzierungsverfahren berechnet werden.

[0043] Das Fehler-Reduzierungsverfahren kann bevorzugt einen Kalman-Filter aufweisen, d. h. es arbeitet mit einem solchen Filter. Der Kalman-Filter berechnet dabei indirekt Schätzwerte für die Position des realen Objekts.

[0044] Besonders bevorzugt werden für die berechnete, geschätzte Position des realen Objekts, die Kinematik sowie die Dynamik des realen Objekts und/oder der Führungsstruktur sowie der Kalman-Filter berücksichtigt.

[0045] Des Weiteren gibt es auch zur Ermittlung bzw. zur Detektion der Position des realen Objekts verschiedene Möglichkeiten, damit dann im Rahmen der Erfindung die wie oben beschrieben geschätzte Position des realen Objekts mit der detektierten Position des realen Objekts verglichen werden kann.

[0046] Vorzugsweise kann zum Detektieren der Position des realen Objekts wie erwähnt ein Tracking-System genutzt werden.

[0047] Das Tracking-System kann dabei eine Kamera umfassen, insbesondere Infrarot-Kamera, mittels der die Position des realen Objekts detektiert werden kann.

[0048] Zudem nutzt das Tracking-System, im Besonderen die Kamera, hierzu bevorzugt Marker, die mit dem realen Objekt oder der Führungsstruktur verbunden sein können. Diese Marker können Marker mit einer visuellen Kennzeichnung sein, die ein dem Tracking-System bekanntes Muster aufweisen. Die Marker bzw. die Muster können auch hierzu zu Beginn des Trackens eingelesen werden. Diese Marker können dann zu den verschiedenen aufeinander folgenden Messzeitpunkten einfach detektiert und somit verfolgt werden.

[0049] Handelt es sich bei dem realen Objekt um ein IR-Strahlung (Infrarotstrahlung, insbesondere Wärmestrahlung) aussendendes Objekt, beispielsweise um eine menschliche Hand, so könnte diese aufgrund ihrer IR- bzw. Wärmeausstrahlung auch sehr gut ohne zusätzliche Marker mittels einer Infrarot-Kamera detektiert werden.

[0050] Würde es sich bei dem realen Objekt um ein selbst nicht ausreichend Wärme ausstrahlendes Objekt handeln, wie beispielsweise dem Arm eines Operations-Roboters, so können zur Erleichterung der Detektion auch passive Infrarot-Marker, welche auf dem Arm des Operations-Roboters angebracht werden können, verwendet werden. Unter Umständen kann es sich hierbei auch um IR-Strahlung reflektierende Marker handeln und die gesamte Szenerie wird mit IR-Strahlung von einer geeigneten IR-Strahlungsquelle bestrahlt.

[0051] Durch die Verwendung einer Infrarot-Kamera ist es somit auch bei einer Verdeckung des realen Objekts durch umliegende Objekte, trotzdem möglich, die Position des realen Objekts zu detektieren.

[0052] Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht im Übrigen auch in der Möglichkeit, dass das virtuelle Objekt selbst dann mit einiger Verlässlichkeit angezeigt werden kann, wenn das Objekt an sich vorübergehend nicht detektierbar ist, weil beispielsweise das Objekt und/oder die Marker temporär verschwinden bzw. verdeckt sind.

[0053] Wurde nämlich beispielsweise zu den vorhergehenden Messzeitpunkten ständig ein guter Zuverlässigkeitswert erreicht, der über einem zuvor definierten zweiten Grenzwert liegt, so kann das virtuelle Objekt auch mit der geschätzten Position des realen Objekts verknüpft werden und in der Anzeige der AR-Anzeigevorrichtung visualisiert werden.

[0054] Es ist bevorzugt, dass der zweite Grenzwert konsequenter Weise über dem zuvor definierten und erläuterten ersten Grenzwert liegt und beispielweise mindestens einen Wert von 80% aufweist.

[0055] Die Erfindung wird im Folgenden unter Hinweis auf die beigefügten Figuren anhand von Ausführungsbeispielen noch einmal näher erläutert. Dabei sind in den verschiedenen Figuren gleiche Komponenten mit identischen Bezugsziffern versehen.

[0056] Es zeigen:

Fig. 1 schematisch ein Ausführungsbeispiel eines AR-System,

Fig. 2 schematisch eine Darstellung einer Führungsstruktur, welche ein reales Objekt navigiert, an dem sich optische Marker befinden.

Fig. 3 ein Blockschema eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Darstellung des virtuellen Objekts in der AR-Anzeigevorrichtung,

Fig. 4 schematische Darstellungen zur Erläuterung eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Verschiebung des virtuellen Objekts zur detektierten Position des realen Objekts.

Fig. 5 (mit den **Fig. 5a** bis **Fig. 5d**) schematisch die Ausführungsschritte eines möglichen Ablaufs eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Verschiebung des virtuellen Objekts zur detektierten Position des realen Objekts in der AR-Anzeigevorrichtung.

[0057] In **Fig. 1** ist schematisch ein AR-System **100** dargestellt, umfassend einer Rechneinheit **10** und einer AR-Anzeigevorrichtung **20** zur Visualisierung eines virtuellen Objekts **VO**, welches mit einem realen Objekt **RO** verknüpft ist, in einer Anzeige der AR-Anzeigevorrichtung **20**.

[0058] Um das virtuelle Objekt **VO** in der AR-Anzeigevorrichtung **20**, hier eine AR-Brille **20**, anzuzeigen, muss zunächst die Position eines realen Objekts **RO** bzw. einer Führungsstruktur **ROS**, welche mit dem realen Objekt **RO** verbunden ist, bestimmt werden. In **Fig. 1** entspricht die Führungsstruktur **ROS** dem Arm eines Operations-Roboters und das reale Objekt **RO** einem Skalpell, welches vom Arm **ROS** geführt wird.

[0059] Um die Position des Skalpells **RO** zu detektieren, umfasst das Tracking-System **TR** eine Kamera **K**, insbesondere eine Infrarot-Kamera, die Bilder des realen Objekts **RO** erfasst. Die Kamera **K** erfasst dabei auch die Position des Arms des Operations-Roboters **ROS** anhand von Markern **M**, **M'** welche mit dem Arm **ROS** verbunden sind. Bei den Markern **M**, **M'** handelt es sich um optische Marker **M**, **M'**. In **Fig. 1** sind als Beispiel mehrere Marker **M** mit einer visuellen Kennzeichnung wie einem Code, hier ein QR-Code, welche mit einer Kamera, die auch im sichtbaren Lichtbereich arbeitet, eingezeichnet und ein Infrarot-Marker **M'** der mit einer infrarotfähigen Kamera detektiert werden kann. Dies hat den Vorteil, dass die Infrarot-Kamera auch bei einem Verdecken den Marker **M'** beispielsweise bei einer Operation durch Gewebe, Blut etc., am Skalpell **RO** erkennen kann. Ist das reale Objekt **RO** ein IR-Strahlung (Infrarotstrahlung, insbesondere Wärmestrahlung) aussendendes Objekt, wie beispielsweise die in **Fig. 2** gezeigte menschliche Hand **RO_s**, so kann diese aufgrund ihrer IR- bzw. Wärmeausstrahlung auch ohne zusätzliche Marker **M'** mittels der infrarotfähigen Kamera **K** detektiert werden. Bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel wird davon ausgegangen, dass die Kamera **K** sowohl im sichtbaren Bereich als auch im Infrarotbereich arbeiten kann.

[0060] Des Weiteren kann mit Hilfe der Marker **M**, **M'** nicht nur die Position eines realen Objekts **RO** detektiert werden, sondern auch die Funktionsstellung des realen Objekts **RO**. Besteht das reale Objekt **RO** aus mehreren Teilobjekten **RO'**, **RO''**, wie z. B. die beiden Schenkel **RO'**, **RO''** der Klemme in **Fig. 2**, so werden diese Teilobjekte **RO'**, **RO''** jeweils mit Markern **M**, **M'** versehen. Daraufhin wird die Position jedes einzelnen Teilobjekts **RO'**, **RO''** detektiert und die unterschiedlichen Positionen können dann in eine Funktionsstellung des gesamten realen Objekts **RO** umgewandelt werden.

[0061] Um die von der Kamera **K** erfassten Bilddaten an das Tracking-System **TR** bzw. die AR-Anzeigevorrichtung **20** zu übermitteln, ist die Kamera **K** über eine Schnittstelle **8** mit der Rechneinheit **10** verbunden.

[0062] Mittels einer in der Rechneinheit **10** enthaltenen Positionsberechnungseinheit **40** werden die erfassten Bilddaten des Skalpells **RO** bzw. des Arms **ROS** des Roboters ausgewertet. Dazu enthält die Positionsberechnungseinheit **40** eine Bilddatenerfas-

sungseinheit **15** sowie eine damit verbundene Positionsauswerteeinheit **16**. Die Positionsauswerteeinheit **16** kann beispielsweise in Form einer Bilderkennungs- bzw. Mustererkennung-Software realisiert sein, um die Position der Marker und des realen Objekts in den Bildern zu finden. Zur Kalibrierung des Tracking-Systems **TR**, ist eine zusätzliche Kalibrierereinheit **17** mit der Positionsauswerteeinheit **16** verbunden. Die Positionsauswerteeinheit **16** gibt dann die detektierte Position **DP** aus. Wie bereits oben beschrieben, ist die detektierte Position **DP** zwangsweise immer mit einer gewissen Unsicherheit verbunden, die je nach der aktuellen Situation mal größer und mal kleiner sein kann.

[0063] Grundsätzlich sind die Funktionsweisen von Tracking-Systemen und -Verfahren dem Fachmann aber bekannt und brauchen daher hier nicht im Detail erläutert zu werden. Im Rahmen der Erfindung kann im Prinzip auch ein bereits vorhandenes Tracking-System verwendet werden

[0064] Hier umfasst die Rechneinheit **10** jedoch zusätzlich eine Validierungseinrichtung **30**, um parallel zur Detektion einer Position des realen Objekts **RO** noch eine geschätzte Position **GP** des realen Objekts **RO** bzw. der Führungsstruktur **ROS** zu berechnen.

[0065] Um für die geschätzte Position **GP** auch die Dynamik des realen Objekts **RO** berücksichtigen zu können, beinhaltet die Rechneinheit **10** eine zusätzliche Datenübertragungsschnittstelle **19**. Diese übermittelt beispielsweise die Lage- und Beschleunigungsdaten, die von einem Sensor **S**, der auf dem realen Objekt **RO** angebracht ist, an eine Sensoreingangs- oder -auswerteeinheit **11**. Die Übertragung der Sensormesswerte kann - wie hier - beispielsweise drahtlos erfolgen, könnte aber auch kabelgebunden sein.

[0066] Zudem kann auch die Kinematik des realen Objekts **RO** und der Führungsstruktur **ROS** für die Berechnung der geschätzten Position **GP** des realen Objekts **RO** berücksichtigt werden. Hierzu enthält die Validierungseinrichtung **30** eine Schnittstelle **12**, über die zusätzliche Daten zum realen Objekt **RO** abgefragt werden können. Die Schnittstelle **12** kann eine Benutzerschnittstelle umfassen, so dass der Benutzer immer die aktuellen Daten vorgeben kann. Sie kann aber zusätzlich oder alternativ auch eine Schnittstelle zu einem Speicher umfassen, in dem vorab für verschiedenste Objekte Daten hinterlegt sind. Handelt es sich zum Beispiel bei der Führungsstruktur **ROS** um eine menschliche Hand anstelle des, wie in **Fig. 1** gezeigten Arm eines Roboters, so können hier beispielsweise die Freiheitsgrade des Arms hinterlegt werden, um die Kinematik des realen Objekts **RO** zu bestimmen.

[0067] In einer an die Sensoreingangs- oder -auswerteeinheit **11** und die Schnittstelle **12** angeschlossenen

Auswerteeinheit **13**, werden die Bewegungsparameterwerte ausgewertet. Zum anderen kann die Rechneinheit **10** aber auch zur Berechnung der kinematischen Daten auf die Positionsauswerteeinheit **16** und die von dieser detektierten Positionen der Marker **M** zurückgreifen.

[0068] Die geschätzte Position **GP** des realen Objekts **RO** kann auch unter Nutzung einer in der Validierungseinrichtung **30** enthaltene Messfehlerkorrektureinheit **14**, welche auf einem Kalman-Filter basiert, berechnet werden. Dieser berechnet dabei indirekt Schätzwerte für die Position des realen Objekts **RO**.

[0069] Die zu einem bestimmten Zeitpunkt mithilfe der Positionsberechnungseinheit **40** detektierte Position **DP** des realen Objekts **RO** und die für den gleichen Zeitpunkt (Messzeitpunkt) in der Validierungseinrichtung **30** geschätzte Position **GP** des realen Objekts **RO** werden jeweils an eine Auswerteeinheit **18** übermittelt und dort ausgewertet. Die Auswerteeinheit **18** berechnet hierzu einen Zuverlässigkeitswert **ZW** bzw. Plausibilitätswert, der angibt, inwieweit die detektierte Position **DP** von der geschätzten Position **GP** des realen Objekts **RO** zum jeweiligen Zeitpunkt abweicht. Die Auswerteeinheit **18** generiert dazu beispielsweise geeignete Steuerbefehle für die AR-Anzeigevorrichtung **20** und gibt diese Befehle an sie aus.

[0070] Die Validierungseinrichtung **30** und die Positionsberechnungseinheit **40** sowie die Auswerteeinheit **18** können jeweils auf einem eigenen Mikroprozessor realisiert werden. Sie können aber auch miteinander kombiniert auf einem gemeinsamen Mikroprozessor realisiert sein.

[0071] Der von der Auswerteeinheit **18** ausgegebene Zuverlässigkeitswert **ZW** wird über eine drahtlose Datenübertragungsschnittstelle **9** an die AR-Brille **20** übermittelt und dort visualisiert.

[0072] Die Visualisierung des Zuverlässigkeitswerts **ZW** bzw. des Plausibilitätswerts kann dabei auf verschiedene Weise erfolgen.

[0073] Wie in **Fig. 1** erkennbar, kann die Visualisierung über eine Markierung **MZ** erfolgen, hier das Symbol **MZ** einer Ampel, wobei über die Ampelschaltung angezeigt wird, wie plausibel die aktuell dargestellte Position des virtuellen Objekts **VO** in der Anzeige der Datenbrille **20** ist (z. B. grün für hohe Verlässlichkeit, rot für schlechte Verlässlichkeit).

[0074] Die Visualisierung kann aber auch, wie ebenfalls in **Fig. 1** erkennbar, durch eine Markierung **MZ'** in Form eines Zahlenwert **MZ'** erfolgen. Hier wird direkt prozentual angegeben, inwieweit beispielsweise die geschätzte Position **GP** mit der detektierten Position **DP** des realen Objekts **RO** übereinstimmt. In dem

dargestellten Fall ist durch die gezeigte Markierung **MZ'** angegeben, dass das virtuelle Objekt **VO** mit einer Wahrscheinlichkeit von 60% an der richtigen Position (hier das Skalpell **RO**) in der Anzeige der AR-Brille **20** dargestellt wird.

[0075] Zudem kann auch das virtuelle Objekt **VO** selbst in der AR-Brille **20** angezeigt werden. In **Fig. 1** entspricht das virtuelle Objekt **VO** einer Information zum realen Objekt **RO** und gibt jeweils die aktuelle Schnitttiefe des Skalpells **RO** beispielsweise in einer menschlichen Haut an. Das virtuelle Objekt **VO** könnte aber auch, wie bereits erwähnt, ein Symbol umfassen oder aber auch eine weitere virtuelle Darstellung des realen Objekts **RO** sein.

[0076] Das virtuelle Objekt **VO** ist dabei indirekt durch die detektierte Position **DP** des Skalpells **RO** mit der tatsächlichen Position des Skalpells **RO** verbunden. Auch dies kann eine Aussage dazu sein, dass der Zuverlässigkeitswert **ZW** ausreichend hoch ist. Eine weitere Möglichkeit den Zuverlässigkeitswert **ZW** in der Anzeige der AR-Anzeigevorrichtung **20** zu visualisieren, besteht nämlich darin, das virtuelle Objekt **VO** abhängig vom Zuverlässigkeitswert **ZW** in Richtung der detektierten Position **DP** des realen Objektes **RO** in der Anzeige zu verschieben.

[0077] **Fig. 3** zeigt zu einem solchen Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens in einer schematischen Darstellung diesen Ablauf.

[0078] Das Verfahren beginnt zu einem Messzeitpunkt mit dem Verfahrensschritt **1** und dem Verfahrensschritt **2**. In Verfahrensschritt **1** wird mit Hilfe der Positionsberechnungseinheit **40** die während des Messzeitpunkts detektierte Position **DP** des realen Objekts **RO**, ausgegeben. In Verfahrensschritt **2** wird mittels der Validierungseinrichtung **30** die zum selben Messzeitpunkt geschätzte Position **GP** des realen Objekts **RO** ausgegeben.

[0079] In einem Verfahrensschritt **3** wird mit Hilfe der Auswerteeinheit **18**, wie bereits erwähnt, der Zuverlässigkeitswert **ZW** bzw. der Plausibilitätswert anhand der detektierten und geschätzten Position des realen Objekts **RO** ermittelt.

[0080] Im Verfahrensschritt **4** wird daraufhin geprüft, ob der Zuverlässigkeitswert **ZW** über einem zuvor definierten Grenzwert **GW** liegt, welcher anwendungsspezifisch eingestellt werden kann.

[0081] Liegt der Zuverlässigkeitswert **ZW** unterhalb des Grenzwerts **GW**, so geht es weiter zu Verfahrensschritt **5** und das virtuelle Objekt **VO** wird nicht mehr in der Anzeige der AR-Anzeigevorrichtung **20** visualisiert. Das Tracken wird hierbei z. B. vom Benutzer oder von der Rechneinheit **10** des AR-Systems **100** selbst abgebrochen und misst und berech-

net die Position des realen Objekts **RO** in einem darauffolgenden Messzeitpunkt erneut.

[0082] Ist der Zuverlässigkeitswert **ZW** höher als der Grenzwert **GW**, so kommt es zu Verfahrensschritt **6** und das virtuelle Objekt **VO** wird basierend auf der Höhe des Zuverlässigkeitswert **ZW**, in Richtung der detektierten Position **DP** des realen Objekts **RO** in der Anzeige der AR-Anzeigevorrichtung **20** verschoben. Das Verfahren ist für diesen Messzeitpunkt abgeschlossen **7** und beginnt mit dem nächsten darauffolgenden Messzeitpunkt erneut mit dem Verfahrensschritt **1** und dem Verfahrensschritt **2**.

[0083] Die geschätzte Position **GP** des realen Objekts **RO** kann auch zwischen den aufeinander folgenden Messzeitpunkten auf Basis der zuvor detektierten und geschätzten Position des realen Objekts **RO** interpoliert werden. Zu diesen interpolierten Werten kann ebenfalls ein Zuverlässigkeitswert **ZW** zwischen den einzelnen Messzeitpunkten berechnet werden und in der Anzeige der AR-Anzeigevorrichtung **20** visualisiert werden.

[0084] Die Geschwindigkeit mit der das virtuelle Objekt **VO** in Richtung der detektierten Position **DP** des realen Objekts **RO** verschoben wird, ist abhängig von der Wahrscheinlichkeit, mit der die detektierte Position **DP** der geschätzten Position **GP** des realen Objekts **RO** entspricht. Die Geschwindigkeit ist also, wie bereits erwähnt, abhängig vom Zuverlässigkeitswert **ZW**.

[0085] Die Wahrscheinlichkeit mit der die detektierte Position **DP** und die geschätzte Position **GP** übereinstimmen, kann beispielsweise wie in **Fig. 4** gezeigt durch eine (hier nach unten gekehrte) Gaußverteilung angegeben werden. Auch andere Verteilungen, wie beispielsweise eine Binomialverteilung, wären möglich.

[0086] In der oberen Abbildung in **Fig. 4** ist das virtuelle Objekt **VO** sowie eine relativ breite Gauß-Glockenkurve **G** gezeigt, in welcher Spitze (hier das Minimum) sich die detektierte Position **DP** des realen Objekts **RO** mit der höchsten Wahrscheinlichkeit befindet.

[0087] In der unteren Abbildung ist ebenfalls das virtuelle Objekt **VO** dargestellt sowie eine im Vergleich zur oberen Abbildung schmalere und steilere Gauß-Glockenkurve **G**, in deren Spitze sich wieder die detektierte Position **DP** des realen Objekts **RO** mit der höchsten Wahrscheinlichkeit befindet. Die Wahrscheinlichkeit, dass die detektierte Position **DP** mit der geschätzten Position **GP** des realen Objekts **RO** übereinstimmt ist also in der unteren Abbildung sehr viel höher als in der oberen Abbildung in **Fig. 4**.

[0088] Die beschriebenen Sachverhalte der beiden Abbildungen aus **Fig. 4** könnten auch simuliert werden, wobei die Wahrscheinlichkeitsverteilung bspw. als Kraftfeld interpretiert werden könnte, in dem die detektierte Position **DP** an den wahrscheinlichsten Aufenthaltsort des realen Objekts gezogen wird. Daher wurden aus Anschaulichkeitsgründen in **Fig. 4** auch nach unten gedrehte Verteilungen dargestellt, da hieran gut vorstellbar ist, wie die Kugel, die die detektierte Position **DP** repräsentiert, im Potential hinunterläuft, und somit an die tiefste Stelle „gezogen“ wird.

[0089] Hierbei wäre zu erkennen, dass das virtuelle Objekt **VO** auf der steileren Kurve (aus der unteren Abbildung) sehr viel schneller der detektierten Position **DP** des realen Objekts **RO** folgen kann, als auf der breiteren Kurve der oberen Abbildung. Daher steigt mit zunehmender Wahrscheinlichkeit, bzw. mit steigendem Zuverlässigkeitswert **ZW** auch die Geschwindigkeit mit der das virtuelle Objekt **VO** der detektierten Position **DP** des realen Objekts **RO** folgen kann.

[0090] Je höher der Zuverlässigkeitswert **ZW** ist, desto höher ist auch die Kraft (falls die Wahrscheinlichkeitsverteilung als Kraftfeld interpretiert wird), was hier durch den längeren Kraftpfeil **F** symbolisiert wird, und desto höher ist auch die Beschleunigung mit der das virtuelle Objekt **VO** der detektierten Position **DP** folgt.

[0091] Um den Geschwindigkeitsverlauf während der detektierten und geschätzten Position des realen Objekts **RO** zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten zu veranschaulichen, wird auf **Fig. 5** verwiesen, welche hier aufgrund der Vielzahl der zu erklärenden Zwischenschritte aus anschaulichen Gründen auf vier **Fig. 5a** bis **Fig. 5d** verteilt ist. Die Teilfiguren schließen dabei jeweils an den Sprungmarken x , x' , x'' aneinander an.

[0092] In der **Fig. 5** wird dargestellt, wie zu unterschiedlichen Zeitpunkten $t(n + x)$ (mit $x = 0,5, 1,0, 1,5, \dots$) jeweils die tatsächliche bzw. echte Position des realen Objekts **RO**, die geschätzte Position **GP** und die detektierte Position **DP** des realen Objekts **RO** sowie die Position des virtuellen Objekts **VO** in der AR-Anzeigevorrichtung **20** visualisiert wird.

[0093] Die Zeitpunkte in den einzelnen dargestellten Schritten unterscheiden sich hier jeweils in 0,5er-Schritten. Diese 0,5 können dabei für 0,5 Sekunden stehen. In regelmäßigen Zeitabständen, hier alle 2 Sekunden, werden wiederholte Messungen beispielsweise mit dem Tracking-System **TR** durchgeführt, um die detektierte Position **DP** des realen Objekts **RO** zu bestimmen. Der zeitliche Abstand zwischen den Messzeitpunkten kann variieren und ist hier nur exemplarisch mit 2 Sekunden angegeben. In

medizinischen Anwendungen könnte beispielsweise ein neuer Messzeitpunkt schon nach 2 ms oder sogar noch schneller von Vorteil sein.

[0094] Der in **Fig. 5a** dargestellte Schritt I zeigt zum Zeitpunkt $t(n + 0,5)$ die geschätzte Position **GP** und die detektierte Position **DP** des realen Objekts **RO** sowie die Position des realen Objekts **RO**, nachdem zu einem vorherigen Messzeitpunkt $t(n)$ (hier nicht dargestellt) die detektierte Position **DP** des realen Objekts **RO** gemessen wurde und die geschätzte Position **GP** des realen Objekts **RO** berechnet wurde.

[0095] Es ist erkennbar, dass das virtuelle Objekt **VO** sich in der Nähe einer Bahnkurve der detektierten Position **DP** des realen Objekts **RO** befindet. Diese Bahnkurve zeigt den Verlauf der detektierten Positionen **DP** des realen Objekts **RO** zu den vorangegangenen Messzeitpunkten. Das virtuelle Objekt **VO** liegt aber tatsächlich dennoch relativ weit von der aktuellen detektierten Position **DP** des realen Objekts **RO** entfernt. Auch die geschätzte Position **GP** des realen Objekts **RO** liegt relativ weit von der aktuellen detektierten Position **DP** des realen Objekts **RO** entfernt, weshalb hier der Zuverlässigkeitswert **ZW** gering sein sollte, was ja letztlich dann korrekt widerspiegelt, dass die detektierte Position **DP** weiter vom realen Objekt **RO** abliegt und tatsächlich nicht besonders gut die Realität widerspiegelt.

[0096] In Schritt II zum Zeitpunkt $t(n + 1,0)$ hat sich das virtuelle Objekt **VO** entlang eines eingezeichneten Pfeils, welcher auch in Schritt I angegeben war, zur detektierten Position **DP** des realen Objekts **RO** verschoben.

[0097] In Schritt III zum Zeitpunkt $t(n + 1,5)$ hat sich das virtuelle Objekt **VO** noch weiter auf dem Richtungspfeil in Richtung der detektierten Position **DP** des realen Objekts **RO** verschoben.

[0098] Da hier wie oben erläutert der Zuverlässigkeitswert **ZW** nicht besonders gut war, wird also das virtuelle Objekt **VO** nur in sehr kleinen Schritten langsam zur aktuellen detektierten Position **DP** nachgezogen, was dem Bediener bzw. Betrachter implizit die Unsicherheit in der Detektion des realen Objekts signalisiert bzw. visualisiert.

[0099] Der Zeitpunkt $t(n + 2,0)$ im Schritt IV in **Fig. 5b** entspricht einem zweiten Messzeitpunkt, bei dem beispielsweise mit Hilfe eines Tracking-Systems **TR** eine neue detektierte Position **DP** des realen Objekts **RO** gemessen sowie eine neue geschätzte Position **GP** des realen Objekts **RO** berechnet wird. Zudem ist auch die neue, im Zeitverlauf veränderte, tatsächliche Position des realen Objekts **RO** erkennbar. Bei diesem Messzeitpunkt liegen die geschätzte Position **GP** des realen Objekts **RO** und die detektierte Position **DP** des realen Objekts **RO** noch weiter auseinander.

der, als zum ersten Messzeitpunkt. Das virtuelle Objekt **VO** folgt hier immer noch der zum ersten Messzeitpunkt detektierten Position **DP** des realen Objekts **RO**.

[0100] Erst in Schritt V zum Zeitpunkt $t(n + 2,5)$ folgt das virtuelle Objekt **VO** nun der im zweiten Messzeitpunkt $t(n + 2,0)$ ermittelten detektierten Position **DP** des realen Objekts **RO**.

[0101] In Schritt VI zum Zeitpunkt $t(n + 3,0)$ hat sich das virtuelle Objekt **VO** noch weiter in Richtung der detektierten Position **DP** des realen Objekts **RO** verschoben. Die detektierte und geschätzte Position des realen Objekts **RO** liegen nun weiter auseinander als zum ersten Messzeitpunkt. Daher wird das virtuelle Objekt nun sogar noch langsamer zur detektierten Position **DP** des realen Objekts **RO** verschoben, als zu den vorigen Zeitschritten, die die detektierte Position **DP** und die geschätzte Position **GP** zum ersten Messzeitpunkt beinhalten.

[0102] In Schritt VII zum Zeitpunkt $t(n + 3,5)$ ist das virtuelle Objekt **VO** wieder einen weiteren Schritt in Richtung der detektierten Position **DP** des realen Objekts **RO** gewandert. Es erreicht jedoch immer noch nicht die detektierte Position **DP** des realen Objekts **RO** und ist noch weiter von der Position der detektierten Position **DP** des realen Objekts **RO** entfernt als zum ersten Messzeitpunkt.

[0103] Zu einem dritten Messzeitpunkt zum Zeitpunkt $t(n + 4,0)$ wird im Schritt VIII in **Fig. 5c** erneut eine Position des realen Objekts **RO** detektiert und eine geschätzte Position **GP** des realen Objekts **RO** berechnet.

[0104] Wie hier erkennbar, kann die geschätzte Position **GP** des realen Objekts **RO** auch einen räumlichen Bereich angeben, anstatt nur eine einzelne Position, z. B. in Form eines Punktes. Dieser Bereich umfasst beispielsweise alle Positionen, die auf Grund der Kinematik des realen Objekts **RO** erreicht werden können.

[0105] Des Weiteren ist in Schritt VIII auch eine neue Position des realen Objekts **RO** dargestellt. Das virtuelle Objekt **VO** verfolgt hier noch immer die detektierte Position **DP** des realen Objekts **RO**, welche zum zweiten Messzeitpunkt $t(n + 2,0)$ ermittelt worden ist. Die geschätzte Position **GP**, die detektierte Position **DP** und die tatsächliche Position des realen Objekts **RO** befinden sich hier im Vergleich zum ersten und zweiten Messzeitpunkt hier am nächsten zueinander. Daher ist auch der auf der detektierten und geschätzten Position basierende Zuverlässigkeitswert **ZW** größer als zu den Messzeitpunkten zuvor. Das virtuelle Objekt **VO** folgt nun dementsprechend mit einer höheren Geschwindigkeit der detektierten Position **DP** des realen Objekts **RO**, als zu den vorher-

igen Schritten, die die detektierte Position **DP** und geschätzte Position **GP** des realen Objekts **RO** zum ersten und zweiten Messzeitpunkt aufzeigten.

[0106] In Schritt IX, zum Zeitpunkt $t(n + 4,5)$, verfolgt das virtuelle Objekt **VO** nun die zum dritten Messzeitpunkt $t(n + 4,0)$ detektierte Position **DP** des realen Objekts **RO**.

[0107] In Schritt X zum Zeitpunkt $t(n + 5,0)$ hat sich das virtuelle Objekt **VO** noch weiter in Richtung der detektierten Position **DP** des realen Objekts **RO** verschoben.

[0108] Das virtuelle Objekt liegt im Schritt XI, zum Zeitpunkt $t(n + 5,5)$, in der Nähe der detektierten Position **DP** des realen Objekts **RO**, jedoch erreicht das virtuelle Objekt **VO** die detektierte Position **DP** noch nicht. Der Abstand zwischen virtuellem Objekt **VO** und detektierter Position **DP** des realen Objekts **RO** ist hier aber kleiner, als zum ersten und zweiten Messzeitpunkt, da die geschätzte Position **GP** des realen Objekts **RO** und die detektierte Position **DP** des realen Objekts **RO** ebenfalls näher beieinander liegen und somit auch der auf diesen Positionen des realen Objekts **RO** basierende Zuverlässigkeitswert **ZW** größer als zum ersten und zweiten Messzeitpunkt ist. Das virtuelle Objekt folgt daher nun mit einer höheren Geschwindigkeit, im Vergleich zu den Schritten während des ersten, zweiten und dritten Messzeitpunkts der detektierten Position **DP** des realen Objekts **RO**.

[0109] Im darauffolgenden vierten Messzeitpunkt im Schritt XII in **Fig. 5d** zum Zeitpunkt $t(n + 6,0)$ befinden sich die neu detektierte Position **DP** des realen Objekts **RO** sowie die neu geschätzte Position **GP** des realen Objekts **RO** in einem Bereich und überschneiden sich sogar. Auch die echte Position des realen Objekts **RO** sowie die detektierte Position **DP** des realen Objekts **RO** liegen tatsächlich sehr dicht beieinander. Das virtuelle Objekt **VO** verfolgt noch die detektierte Position **DP** des realen Objekts **RO** vom dritten Messzeitpunkt.

[0110] In Schritt XIII zum Zeitpunkt $t(n + 6,5)$ verfolgt das virtuelle Objekt **VO** die detektierte Position **DP** des realen Objekts **RO**.

[0111] In Schritt XIV zum Zeitpunkt $t(n + 7,0)$ hat sich das virtuelle Objekt **VO** relativ dicht an die detektierte Position **DP** des realen Objekts **RO** angenähert.

[0112] In Schritt XV zum Zeitpunkt $t(n + 7,5)$ erreicht das virtuelle Objekt **VO** die detektierte Position **DP** des realen Objekts **RO**, da die geschätzte Position **GP** sowie die detektierte Position **DP** sich beinahe auf derselben Position im Raum befinden und somit der Zuverlässigkeitswert **ZW** annähernd bei 100% liegt.

[0113] Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es also ein virtuelles Objekt VO, welches mit einem realen Objekt RO verknüpft ist, in einer Anzeige einer AR-Anzeigevorrichtung 20 darzustellen und die Plausibilität dieser Position mittels eines Zuverlässigkeitswerts ZW kontinuierlich in der Anzeige der AR-Anzeigevorrichtung 20 anzuzeigen oder in anderer Weise (z. B. wie oben gezeigt durch die Nachfolgegeschwindigkeit des virtuellen Objekts) zu visualisieren. Zudem ermöglicht das Verfahren das virtuelle Objekt VO mittels einer zusätzlich geschätzten Position GP des realen Objekts RO in der Anzeige der AR-Anzeigevorrichtung 20 zu visualisieren, obwohl die Position des realen Objekts RO nicht detektiert werden kann.

[0114] Es wird abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei dem vorhergehend detailliert beschriebenen Verfahren lediglich um Ausführungsbeispiele handelt, welche vom Fachmann in verschiedenster Weise modifiziert werden können, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen. Weiterhin schließt die Verwendung der unbestimmten Artikel „ein“ bzw. „eine“ nicht aus, dass die betreffenden Merkmale auch mehrfach vorhanden sein können. Ebenso schließt der Begriff „Einheit“ nicht aus, dass die betreffenden Komponenten aus mehreren zusammenwirkenden Teil-Komponenten bestehen, die gegebenenfalls auch räumlich verteilt sein können.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Positionsbestimmung eines realen Objekts (RO) und Anzeige eines mit dem realen Objekt (RO) verknüpften virtuellen Objekts (VO) in einer Augmented-Reality-Anzeigevorrichtung (20), wobei zu verschiedenen aufeinander folgenden Messzeitpunkten eine Position des realen Objekts (RO) detektiert wird und für die Messzeitpunkte jeweils eine geschätzte Position (GP) berechnet wird und auf Basis der detektierten Position (DP) des realen Objekts (RO) und der geschätzten Position (GP) des realen Objekts (RO) ein Zuverlässigkeitswert (ZW) ermittelt wird und in der Augmented-Reality-Anzeigevorrichtung (20) visualisiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei zur Visualisierung des Zuverlässigkeitswerts (ZW) Markierungen (MZ, MZ') in der Augmented-Reality-Anzeigevorrichtung (20) verwendet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei zur Visualisierung des Zuverlässigkeitswerts (ZW) eine Verschiebung des virtuellen Objekts (VO) zur detektierten Position (DP) des realen Objekts (RO) in der Augmented-Reality-Anzeigevorrichtung (20) in Abhängigkeit vom Zuverlässigkeitswert (ZW) erfolgt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei das virtuelle Objekt (VO) zur detektierten Position (DP) des realen Objekts (RO) in der Augmented-Reality-Anzeigevor-

richtung (20) verschoben wird, wenn der Zuverlässigkeitswert (ZW) über einem definierten ersten Grenzwert liegt.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, wobei eine Geschwindigkeit, mit der das virtuelle Objekt (VO) zur detektierten Position (DP) des realen Objekts (RO) verschoben wird, auf dem Zuverlässigkeitswert (ZW) basiert.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das virtuelle Objekt (VO) zumindest eines der folgenden Objekte umfasst:

- ein Symbol
- eine virtuelle Darstellung des realen Objekts (RO)
- eine Information in Bezug zum realen Objekt (RO).

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die geschätzte Position (GP) unter Berücksichtigung einer Anzahl von Bewegungsparametern und/oder Fehlerreduzierungsverfahren berechnet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei zumindest ein Bewegungsparameter auf einer Kinematik des realen Objekts (RO) und/oder einer Führungsstruktur (RO_S) basiert, welche mit dem realen Objekt (RO) gekoppelt ist.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, wobei zumindest ein Bewegungsparameter auf einer Dynamik des realen Objekts (RO) und/oder der Führungsstruktur (RO_S) basiert, welche mit dem realen Objekt (RO) gekoppelt ist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei die Fehlerreduzierungsverfahren einen Kalman-Filter umfassen.

11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Position des realen Objekts (RO) mittels einer Kamera (K), insbesondere Infrarot-Kamera, detektiert wird und/oder wobei die Position des realen Objekts (RO) mittels Markern (M, M') detektiert wird, welche mit dem realen Objekt (RO) und/oder mit der Führungsstruktur (RO_S), die mit dem realen Objekt (RO) gekoppelt ist, verbunden sind.

12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei zur Visualisierung des Zuverlässigkeitswerts (ZW) eine Verschiebung des virtuellen Objekts (VO) zur geschätzten Position (GP) des realen Objekts (RO) in der Augmented-Reality-Anzeigevorrichtung (20) erfolgt, wenn die Position des realen Objekts (RO) nicht detektiert werden kann, wobei dies vorzugsweise nur unter der zusätzlichen Bedingung erfolgt, dass der Zuverlässigkeitswert (ZW) während einer definierten Anzahl von vergangenen, aufeinander folgenden Messzeitpunkten über einem definierten zweiten Grenzwert liegt, wobei besonders

bevorzugt der zweite Grenzwert größer als der erste Grenzwert (GW) ist.

13. Augmented-Reality-System (100) mit einer Augmented-Reality-Anzeigevorrichtung (20) zur Anzeige eines realen Objekts (RO) und eines mit dem realen Objekts (RO) verknüpften virtuellen Objekts (VO), wobei das Augmented-Reality-System (100) eine Rechneinheit (10) umfasst, die zu verschiedenen aufeinander folgenden Messzeitpunkten jeweils eine geschätzte Position (GP) des realen Objekts (RO) berechnet sowie eine Auswerteeinheit (18), welche auf Basis der geschätzten Position (GP) und einer detektierten Position (DP) des realen Objekts (RO) einen Zuverlässigkeitswert (ZW) ermittelt und dafür sorgt, dass der Zuverlässigkeitswert in der Augmented-Reality-Anzeigevorrichtung (20) visualisiert wird.

14. Computerprogrammprodukt mit einem Computerprogramm, welches direkt in eine Speichereinrichtung einer Rechneinheit (10) eines Augmented-Reality-Systems (100) ladbar ist, mit Programmabschnitten, um alle Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12 auszuführen, wenn das Computerprogramm in der Rechneinheit (10) des Augmented-Reality-Systems (100) ausgeführt wird.

15. Computerlesbares Medium, auf welchem von einer Rechneinheit (10) einlesbare und ausführbare Programmabschnitte gespeichert sind, um alle Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12 auszuführen, wenn die Programmabschnitte von der Rechneinheit (10) ausgeführt werden.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

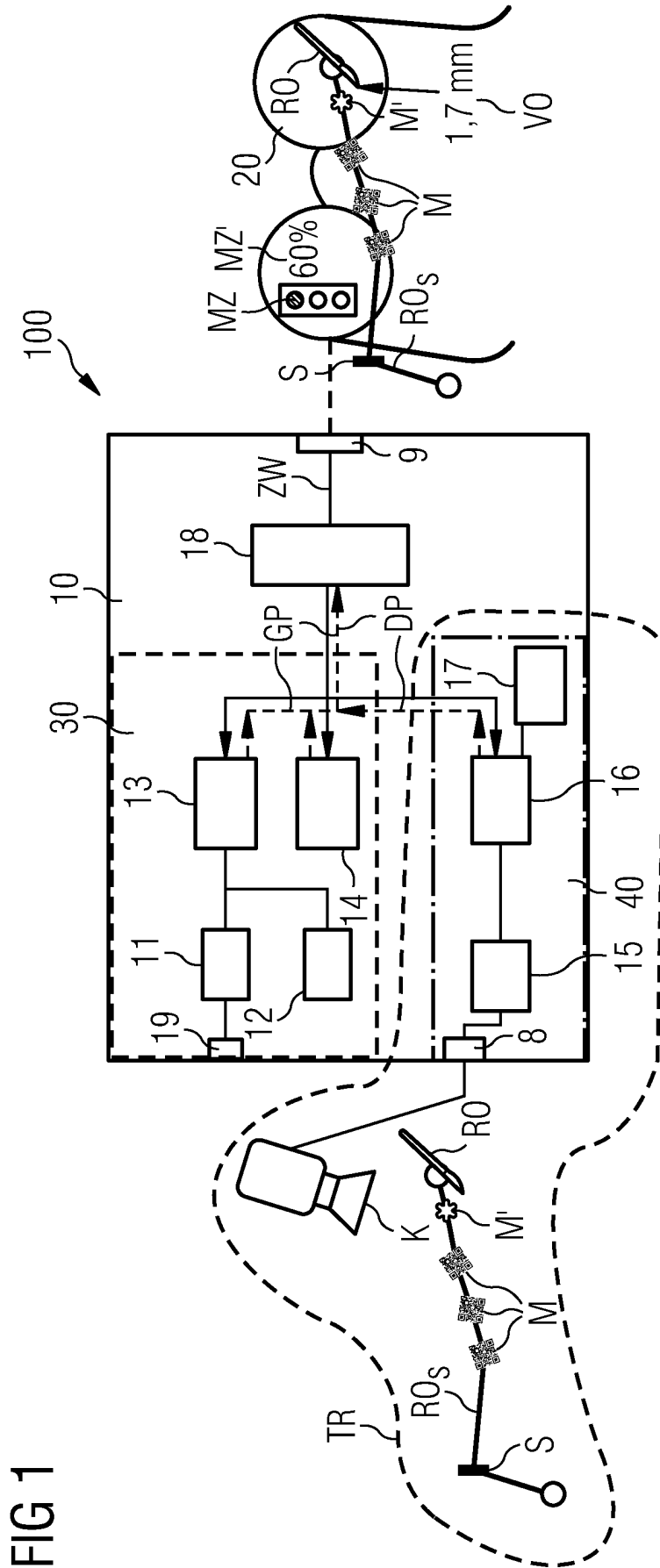


FIG 1

FIG 2

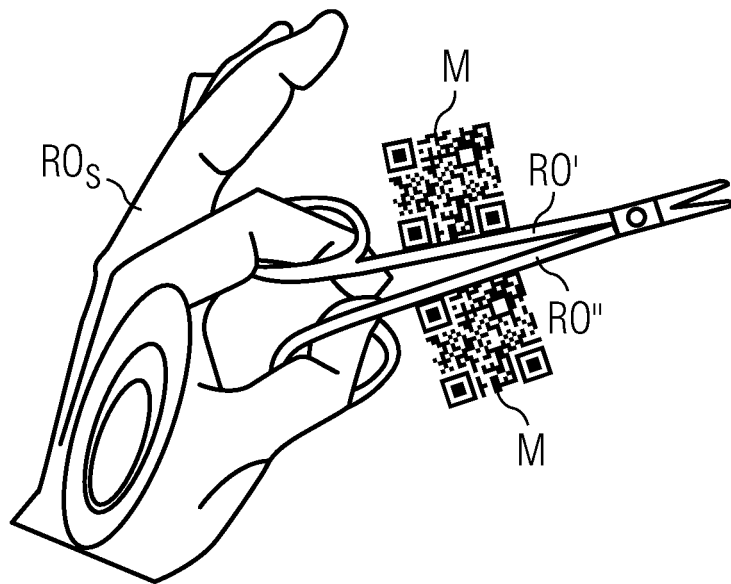


FIG 3

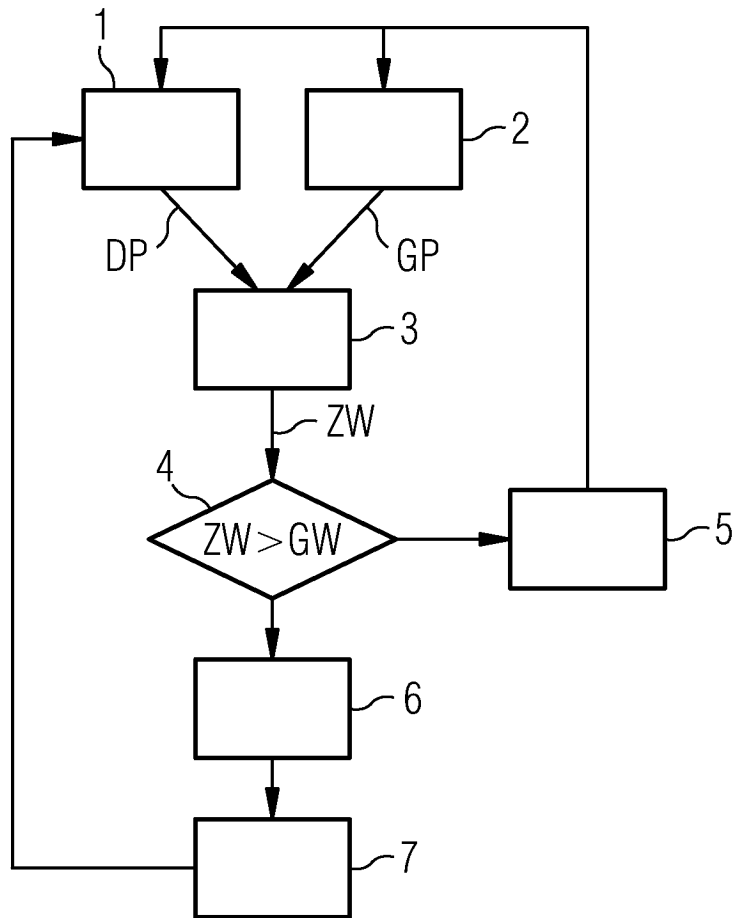


FIG 4

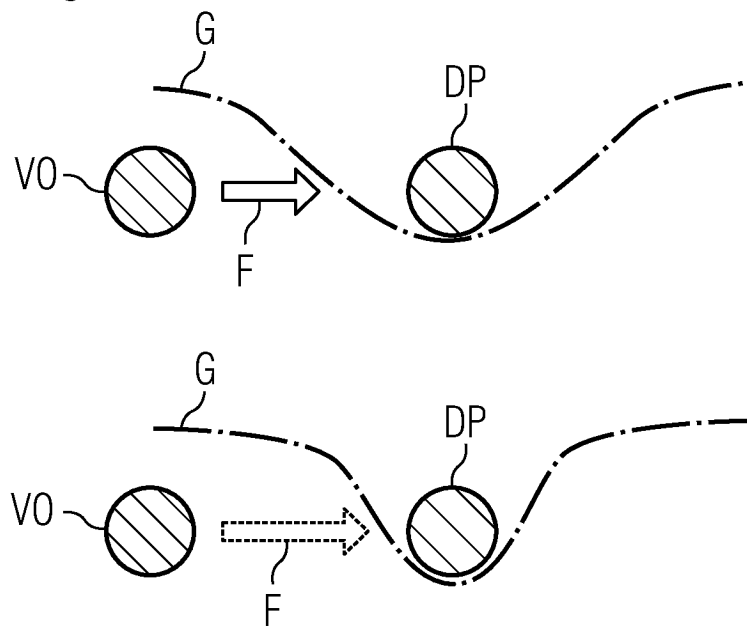


FIG 5A

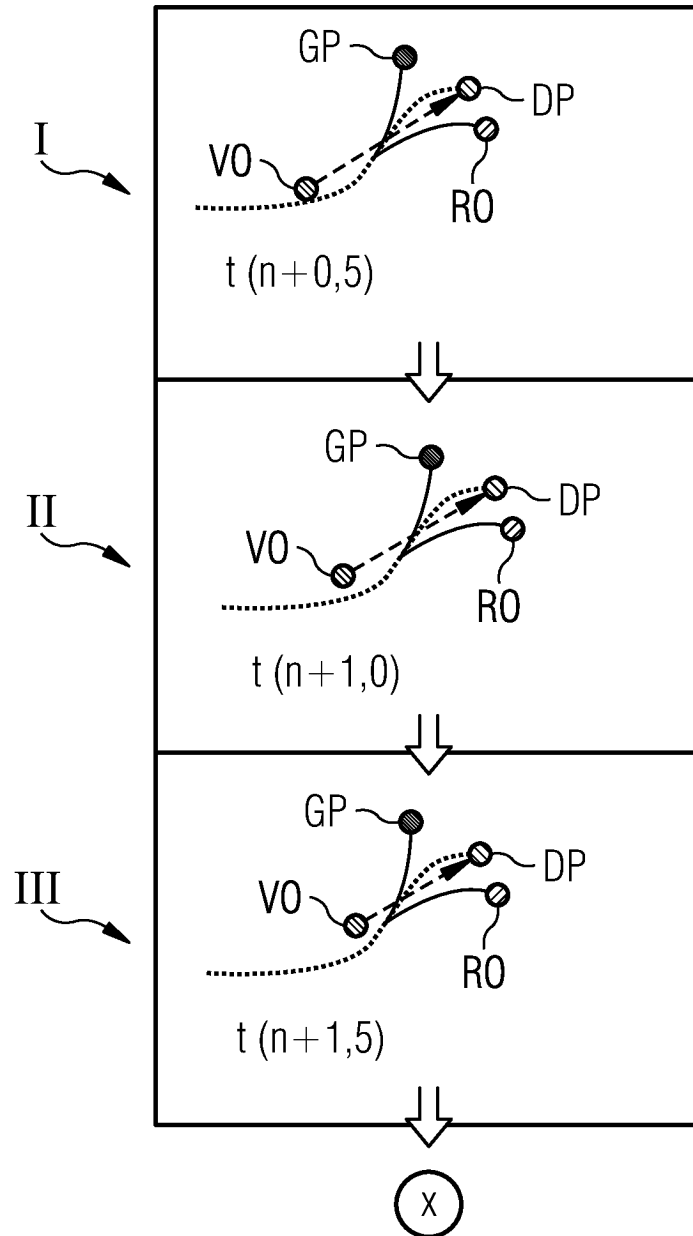


FIG 5B

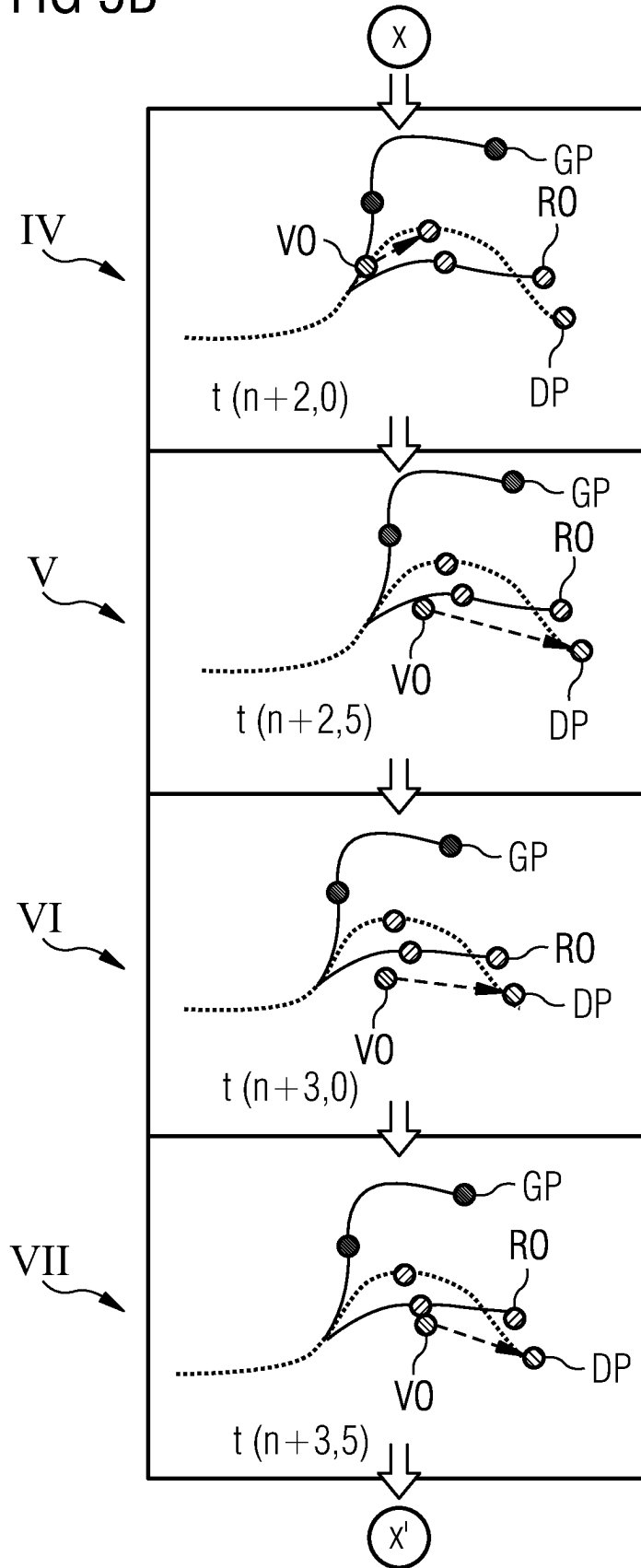


FIG 5C

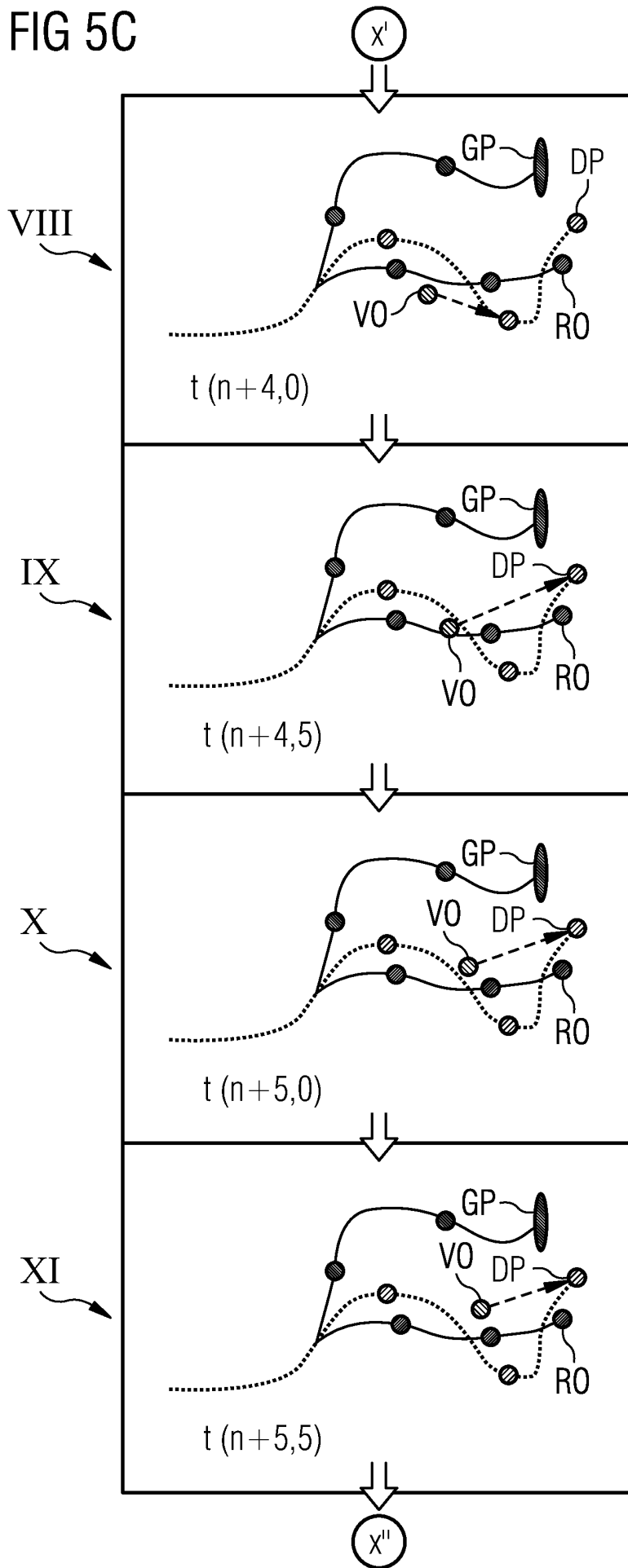


FIG 5D

