

<b>DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO</b>	<b>102021000030014</b>
<b>Data Deposito</b>	<b>26/11/2021</b>
<b>Data Pubblicazione</b>	<b>26/05/2023</b>

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	06	T	19	20

Titolo

PROCEDIMENTO INTERAMENTE VIRTUALE PER MISURAZIONI DI GRANDEZZE  
OPTOMETRICHE.

PROCEDIMENTO INTERAMENTE VIRTUALE PER MISURAZIONI DI  
GRANDEZZE OPTOMETRICHE

-----

La presente invenzione si riferisce a un  
5 procedimento interamente virtuale per misurazioni di  
grandezze optometriche.

Nello stato della tecnica sono noti sia  
procedimenti per misurazioni di grandezze optometriche  
sia per personalizzazioni di oggetti, quali ad esempio  
10 occhiali, attraverso l'utilizzo di misurazioni fisiche  
(e non virtuali) su oggetti di riferimento, es. montature  
di riferimento. Tuttavia la presente invenzione si  
riferisce a procedimenti interamente virtuali, senza  
alcun utilizzo di oggetti fisici.

15 Nello stato della tecnica sono noti procedimenti  
per misurare da remoto caratteristiche fisiche di una  
testa di una persona per realizzare occhiali  
personalizzati per mezzo di un procedimento di prova di  
occhiali virtuali su volti virtuali ripresi su volti  
20 virtuali acquisiti tramite dispositivi elettronici o  
generati digitalmente di una persona reale, come ad  
esempio procedimenti di prova virtuali denominati  
Virtual Try On (VTO) o Virtual Mirror (VM).

I procedimenti di prova virtuali esistenti sono di  
25 due tipi.

Un primo tipo di procedimento di prova virtuale  
prevede una simulazione fisica di un processo di  
posizionamento di un paio di occhiali su un viso tenendo  
conto di un attrito tra una montatura degli occhiali e  
30 il viso della persona indossatrice ed alcune  
caratteristiche fisiche simulate in forma digitale come  
per esempio peso degli occhiali, attrito tra occhiali e

testa, elasticità di una montatura degli occhiali.

Il procedimento di simulazione del posizionamento fisico comprende una previsione di collisioni tra la montatura degli occhiali ed il volto della persona  
5 calcolando matematicamente la posizione nella quale gli occhiali virtuali e la testa virtuale della persona si iniziano ad intersecare.

Nel caso di occhiali virtuali in acetato, la montatura viene spostata verso l'alto fino a che il ponte  
10 degli occhiali virtuali appoggia sopra un naso della testa virtuale rappresentando una profondità di posizionamento. Un rilevamento delle collisioni viene utilizzato per trovare un posizionamento verticale fisicamente realistico.

15 Nel caso di occhiali virtuali in metallo e materiale misto, spesso sono le collisioni tra il naso di chi lo indossa e i naselli degli occhiali che determinano il posizionamento.

Questo posizionamento virtuale si rivela efficace  
20 a fini estetici per mostrare chiaramente ad una persona come sta con indosso gli occhiali.

Svantaggiosamente questo tipo di procedimento è particolarmente oneroso in termini di tempi di calcolo.

Svantaggiosamente la modellazione fisica del  
25 sistema viso-occhiale richiede enormi sforzi di approssimazione e formalizzazione. Inoltre i singoli modelli di occhiale necessitano di un gran numero di parametri come ad esempio le proprietà fisiche di ogni materiale di cui è composto l'occhiale fisico.

30 Un secondo tipo di procedimento di prova virtuale, come ad esempio EP3425446B1 o EP3649505B1, prevede trasformazioni affini comprendendo una serie di punti di

riferimento preimpostati per un modello di testa virtuale 3D ed una corrispondente serie di punti di riferimento preimpostati per un modello di occhiali virtuali 3D. La serie di punti di misurazione 5 preimpostati possono comprendere due punti di un naso e due punti di orecchie. Il procedimento comprende una ricerca della trasformazione affine ottimale nella forma di una matrice di rotazione e di traslazione che minimizzi una somma di distanze tra corrispondenti punti 10 di riferimento preimpostati su un modello di testa virtuale e sul modello di occhiali virtuali. Il vantaggio principale delle trasformazioni affini è che consentono una formalizzazione fine del problema. Procedimenti esistenti si basano su regole formalizzate da esperti in 15 materia o inferite automaticamente dai dati. Svantaggiosamente è necessario pre-impostare ed annotare i punti di riferimento utilizzati durante la fase di ottimizzazione sopra il modello 3D della testa ed il modello degli occhiali 3D.

20 Svantaggiosamente l'allineamento dei punti di riferimento non consente di risolvere completamente il problema di riuscire a misurare le grandezze optometriche da remoto in modo così fine da ottenere misure per la manifattura di lenti degli occhiali.

25 Scopo della presente invenzione consiste nel fatto di realizzare un procedimento per misurazioni di grandezze optometriche e di manipolazioni di una montatura da remoto necessarie per la manifattura delle lenti, per produrre occhiali personalizzati, per 30 restituire indicazioni estetiche sulla corretta posizione degli occhiali rispetto alla testa della persona, per valutare un grado di confortevolezza in

relazione alla possibilità di deformazione di stanghette e montatura, che superi gli svantaggi dello stato della tecnica nota.

In accordo con l'invenzione tale scopo è raggiunto 5 con un procedimento per misurazioni di grandezze optometriche e per manipolazioni di una montatura secondo la rivendicazione 1.

Un ulteriore scopo della presente invenzione consiste nel fatto di realizzare un programma per 10 elaboratore caricabile nella memoria di un calcolatore elettronico comprendente istruzioni che, quando il programma è eseguito dal calcolatore, attuano un procedimento per misurazioni di grandezze optometriche e per manipolazioni di una montatura da remoto necessarie 15 per la manifattura delle lenti, per produrre occhiali personalizzati, per restituire indicazioni estetiche sulla corretta posizione degli occhiali rispetto alla testa della persona, per valutare un grado di 20 confortevolezza in relazione alla possibilità di deformazione di stanghette e montatura, che superi gli svantaggi dello stato della tecnica nota.

In accordo con l'invenzione tale ulteriore scopo è raggiunto con un programma per elaboratore secondo la rivendicazione 11.

25 Altre caratteristiche sono previste nelle rivendicazioni dipendenti.

Le caratteristiche ed i vantaggi della presente invenzione risulteranno maggiormente evidenti dalla descrizione seguente, esemplificativa e non limitativa, 30 riferita ai disegni schematici allegati nei quali:

la figura 1 è uno schema a blocchi del procedimento per misurazioni di grandezze optometriche e per

manipolazioni di una montatura per mezzo di un procedimento per posizionare una montatura di occhiali virtuale sopra una testa virtuale di una persona secondo la presente invenzione;

5 la figura 2 è una vista schematica di un modello tridimensionale di occhiali virtuali;

la figura 3 è una vista schematica di un modello tridimensionale di una testa virtuale di una persona;

10 la figura 4 è uno schema a blocchi di un procedimento di caricamento di un modello virtuale di una testa;

la figura 5 è uno schema a blocchi di un procedimento per posizionare la montatura virtuale sulla testa virtuale;

15 la figura 6 è uno schema a blocchi di una operazione di ottimizzazione vincolata multistadio;

la figura 7 è uno schema a blocchi di un procedimento alternativo per posizionare la montatura virtuale sulla testa virtuale;

20 la figura 8 è uno schema a blocchi di una terza procedura iterativa alternativa a quella di figura 7.

Con riferimento alle figure citate viene mostrato un procedimento interamente virtuale per misurazioni di grandezze optometriche e per manipolazioni di una montatura 100 per mezzo di un procedimento per posizionare 400 una montatura di occhiali virtuali 10 sopra una testa virtuale 20 in modo ottimale.

30 Per misurazione di grandezze optometriche si intendono misurazioni optometriche, come ad esempio centratura lente, angolo pantoscopico, atte a ottenere tutti i dati necessari per realizzare lenti di occhiali.

Per manipolazioni di una montatura si intendono

aggiustamenti alla forma geometrica della montatura reale grazie al procedimento della presente invenzione.

Per interamente virtuale si intende che il procedimento non utilizza misurazioni fisiche su oggetti 5 di riferimento, ad esempio non utilizza misurazioni fisiche su montature di occhiali di riferimento. Il procedimento 100 secondo la presente invenzione è interamente virtuali, cioè senza alcun utilizzo di oggetti fisici.

10 Vantaggiosamente il procedimento 100 della presente invenzione consente di produrre montature di occhiali personalizzate che abbiano ad esempio naselli su misura o stanghette personalizzate su una testa della persona.

15 Vantaggiosamente il procedimento 100 consente anche di restituire indicazioni estetiche sulla corretta posizione degli occhiali rispetto alla testa della persona, valutazione di un grado di confortevolezza in relazione alla possibilità di deformazione di stanghette, naselli ed in generale della montatura nel 20 suo complesso.

Per modo ottimale si intende posizionare la montatura di occhiali virtuali 10 sopra la testa virtuale 20 con un'accuratezza tale da permettere misurazioni delle grandezze optometriche ed in particolare 25 relativamente alle misure necessarie per realizzare le lenti degli occhiali, oltre che per definire come manipolare la montatura reale degli occhiali.

Il procedimento per misurazioni di grandezze optometriche e per manipolazioni di una montatura 100 è 30 implementato in un calcolatore elettronico comprendente almeno un processore per eseguire operazioni e almeno una memoria per immagazzinare dati.

Il procedimento 100 comprende un procedimento di caricamento 200 di detta testa virtuale 20 in detta almeno una memoria ed un procedimento di caricamento 300 di detta montatura di occhiali virtuali 10 in detta 5 almeno una memoria.

Il procedimento per misurazioni di grandezze optometriche e per manipolazioni di una montatura 100 comprende il procedimento per posizionare 400 la montatura degli occhiali virtuali 10 sopra la testa 10 virtuale 20.

Il procedimento di caricamento 200 di detta testa virtuale 20 in detta almeno una memoria comprende preferibilmente un procedimento di misurazione da remoto 201 di caratteristiche fisiche di una testa di una persona che vuole indossare la montatura degli occhiali ed un procedimento di calcolo 202 di un modello virtuale della testa della persona 20, altrimenti detta testa virtuale 20.

Il procedimento di misurazione da remoto 201 di 20 caratteristiche fisiche di una testa di una persona comprende preferibilmente un procedimento di scansione del volto mirato alla generazione di un modello 3D virtuale della testa della persona. Detto modello 3D generato è basato su modelli statistici deformabili noti 25 allo stato dell'arte

Il procedimento di calcolo 202 del modello virtuale della testa della persona 20 comprende un'operazione di realizzazione del modello virtuale di una testa di una persona 20 che deve indossare gli occhiali per mezzo di 30 un reticolo di una molteplicità di punti 21.

Il modello virtuale della testa virtuale 20 comprende il reticolo di detta molteplicità di punti 21

disposti in tre dimensioni ad interpolare una reale testa di persona, in cui detta molteplicità di punti 21 comprende una minore molteplicità di punti di ancoraggio 22 ed una rispettiva molteplicità di vettori normali 23 5 che partono da detti punti di ancoraggio 22, in cui ogni vettore normale 23 è perpendicolare ad una superficie geometrica intorno al rispettivo punto di ancoraggio 22, in cui detta superficie geometrica rappresenta una superficie del modello virtuale della testa 20 intorno 10 al rispettivo punto di ancoraggio 22. I vettori normali 23 sono usati per definire vincoli in termini di distanza punto-piano, come ad esempio vincoli di non penetrazione tra occhiali virtuali 10 e viso della testa virtuale 20. Per piano si intende la superficie geometrica di un 15 intorno geometrico del punto 22 della testa virtuale 20 che interpola la reale forma della testa della persona.

Si noti bene che i punti di ancoraggio 22 della testa virtuale 20 vengono calcolati dal procedimento di calcolo 202 per mezzo di un'operazione iterativa di 20 calcolo per individuare la molteplicità di punti di ancoraggio 22 tra i punti 21 della molteplicità di punti 21 del reticolo e non sono pre-impostati.

Il procedimento di calcolo 202 comprende un'operazione iterativa di calcolo che individua punti 25 di ancoraggio 22 tra i punti 21 della testa virtuale.

Il procedimento di calcolo 202 comprende un'operazione di calcolo che in ogni punto di ancoraggio 22 individua un piano geometrico che interpola una forma della testa reale della persona e calcola un vettore 30 normale 23 rispetto a detto piano geometrico che parte dal punto di ancoraggio.

Il procedimento di caricamento 200 prevede che la

testa virtuale 20 venga caricata in detta almeno una memoria.

Il procedimento di caricamento 300 della montatura virtuale 10 prevede di caricare detta montatura virtuale 5 10 in detta almeno una memoria.

Detta montatura virtuale 10 è preimpostata cioè precedentemente realizzata attraverso un procedimento di calcolo della montatura virtuale 10.

La montatura virtuale 10 comprende un reticolo 10 virtuale tridimensionale di una molteplicità di punti 11 disposti in tre dimensioni ad interpolare una reale montatura di occhiali, in cui detta molteplicità di punti 11 comprende una minore molteplicità di punti di ancoraggio 12.

15 Al contrario dei punti di ancoraggio 22 della testa virtuale che vengono calcolati 202, i punti di ancoraggio 12 sono punti 11 del reticolo della montatura virtuale 10 predefiniti in base alle caratteristiche della montatura reale.

20 I punti di ancoraggio 12 sono i punti 11 del reticolo che consentono, insieme a vincoli virtuali ottenuti dal procedimento di posizionamento 400, di ottenere i dati di posizionamento da parte del procedimento di posizionamento 400.

25 Il reticolo tridimensionale della molteplicità di punti 11 della montatura virtuale 10 definisce la forma ed il tipo della montatura di occhiali da posizionare sulla testa della persona. Ogni tipo di montatura di occhiali comprende una rispettivo montatura virtuale 10 30 che la rappresenta attraverso un rispettivo reticolo virtuale tridimensionale di punti 11.

Detto almeno un processore elabora da detta almeno

una memoria sia la montatura virtuale 10 sia la testa virtuale 20.

Il procedimento per posizionare 400 la montatura virtuale 10 sopra la testa virtuale 20 è un procedimento 5 iterativo che prevede che detto almeno un processore calcoli iterativamente dati di posizionamento sempre più precisi di una posizione della montatura virtuale 10 rispetto alla testa virtuale 20 fino a raggiungere un'accuratezza predefinita. I dati di posizionamento 10 comprendono vincoli virtuali e punti di ancoraggio 12 della montatura degli occhiali virtuali 10, che sono i dati necessari per posizionare in modo ottimale la montatura degli occhiali virtuali 10 sulla testa virtuale 20 fino all'accuratezza tale da permettere 15 misurazioni delle grandezze optometriche ed in particolare relativamente alle misure necessarie per realizzare le lenti degli occhiali.

Il procedimento 100 comprende un procedimento di salvataggio 500 dei dati di posizionamento, in cui detto 20 almeno un processore salva in detta almeno una memoria i dati di posizionamento ottimizzati al termine del procedimento iterativo per posizionare 400 la montatura virtuale 10 sopra la testa virtuale 20.

Il procedimento 100 comprende inoltre un 25 procedimento di calcolo 600 delle grandezze optometriche in cui detto almeno un processore elabora i dati di posizionamento ottimizzati e calcola le grandezze optometriche.

Per dati di posizionamento ottimizzati si intendono 30 dati di posizionamento di accuratezza predefinita, in cui detta accuratezza predefinita è tale da consentire di realizzare lenti per la montatura degli occhiali.

Il procedimento per posizionare 400 la montatura degli occhiali virtuali 10 sopra la testa virtuale 20 è vantaggiosamente in grado di posizionare virtualmente la montatura virtuale 10 sopra la testa virtuale 20.

5 Il procedimento di posizionamento 400 si basa su una combinazione di ottimizzazione vincolata non lineare multistadio e simulazione fisica di corpo rigido.

Il procedimento per posizionare 400 la montatura virtuale 10 sopra la testa virtuale 20 comprende una  
10 prima procedura iterativa multistadio 410 che comprende una operazione di ottimizzazione non lineare vincolata multistadio 411, un'operazione di ottimizzazione non lineare vincolata 412 e successivamente una seconda procedura iterativa 420 che comprende una fase di  
15 rilevamento di collisioni 421.

Vantaggiosamente il procedimento per posizionare 400 la montatura virtuale 10 sopra la testa virtuale 20 consente di ottenere un'elevata precisione nelle misurazioni digitali effettuate su reticolli  
20 tridimensionali virtuali di punti 11, 21.

L'operazione di ottimizzazione non lineare vincolata multistadio 411 comprende una operazione di allineamento 431 della montatura virtuale 10 rispetto alla testa virtuale 20.

25 Questa operazione di allineamento 431 prevede che il processore inizialmente trovi un allineamento approssimativo e ragionevole tra il reticolo 11 del modello virtuale di occhiali 10 ed il reticolo 21 del modello virtuale di testa 20 basandosi sui punti di  
30 ancoraggio 12 rilevati dalla memoria in ingresso. In seguito partendo dall'allineamento approssimativo, il processore cambia iterativamente una molteplicità di

parametri che definiscono i due reticolli 11, 21 del modello virtuale di testa 20 e del modello virtuale di occhiali 10 in modo di minimizzare una funzione di costo di una distanza tra ogni punto 12 della prima serie di 5 punti di ancoraggio 12 ed ogni rispettivo punto 22 della seconda serie di punti di ancoraggio 22. Ad esempio un primo punto 12 della prima serie di punti 12 è un punto di ancoraggio 12 di una stanga 14 della montatura degli occhiali virtuali 10 ed il rispettivo secondo punto 22 10 della seconda serie di punti 22 è un punto di ancoraggio 22 di un orecchio del modello della testa virtuale 20.

La funzione di costo è una funzione che mappa un evento o valori di più variabili su un numero reale che rappresenta un costo associato all'evento. Una soluzione 15 al problema di ottimizzazione minimizza la funzione di costo.

La funzione di costo minimizza le distanze tra punti 21 e punti 11 e dipende dalla somma delle distanze tra punti 21 corrispondenti sul volto della testa virtuale 20 20 ed i punti 11 degli occhiali virtuali 10.

L'ottimizzazione minimizza la funzione di costo entro uno spazio di ricerca che è definito da una matrice di rotazione e traslazione degli occhiali virtuali 10. Il procedimento si interrompe quando il processore 25 individua la matrice di rotazione e traslazione che minimizza la funzione di costo secondo una tolleranza predefinita che viene ritenuta accettabile.

Ad esempio si può fermare il processo quando la funzione di costo ha una tolleranza inferiore ad un 30 ordine di grandezza di  $10^{-9}$  o addirittura di  $10^{-12}$ .

La seconda procedura iterativa 420, vincolata dai dati della prima procedura iterativa multistadio 410,

comprende l'operazione di rilevamento di collisioni 421 in realtà è una operazione finalizzata ad evitare le collisioni (intersezioni) tra reticolo dei punti 21 della testa virtuale 20 e reticolo dei punti 11 della 5 montatura virtuale 10, sfruttando i vincoli ottenuti dalla prima procedura iterativa multistadio 410.

La seconda procedura iterativa 420 è soggetta a un insieme di vincoli mirati ad evitare intersezioni tra i reticolli tridimensionali 11, 21 degli occhiali 10 e della 10 testa 20. Per fare ciò, i vincoli sono definiti in termini di distanze punto-piano, dove i punti sono i vertici di ancoraggio 12, 22 sul reticolo degli occhiali 10 e i piani sono definiti dai vertici di ancoraggio 22 sul reticolo della testa 20 ed i corrispondenti vettori 15 normali 23.

L'imposizione che una distanza punto-piano sia maggiore di zero implica che un vertice sul reticolo 11 degli occhiali virtuali 10 sia esterno o non intersechi il reticolo 21 della testa virtuale 20. 20 La distanza punto-piano offre vantaggi di tempi di calcolo minori.

Alternativamente è possibile prevedere una distanza differente da quella punto-piano.

Il procedimento per posizionare 400 in modo 25 ottimale il modello virtuale della montatura degli occhiali 10 con il modello virtuale della testa della persona 20 comprende una operazione di salvataggio 500 nella quale il processore salva in memoria i parametri ottimizzati del reticolo 11 del modello di occhiali 30 virtuali 10, che sono i punti di ancoraggio ottimizzati 12 e i vincoli virtuali, definendo con questi parametri una matrice di roto-traslazione di un'ottimizzazione non

lineare vincolata, che è una soluzione. Si noti che i punti 22 della testa virtuale 20 restano invariati e vengono modificati solo i punti 12 degli occhiali virtuali 10. La soluzione salvata in memoria è la matrice 5 di rotazione e traslazione da applicare al reticolo 11 degli occhiali virtuali 10.

Preferibilmente il procedimento per posizionare 400 in modo ottimale il modello virtuale della montatura degli occhiali 10 con il modello virtuale della testa 10 della persona 20 comprende una operazione di ottimizzazione vincolata 430 del modello virtuale degli occhiali 10.

L'output dell'operazione di allineamento 431 degli occhiali virtuali 10 fornisce un allineamento iniziale 15 accettabile, ma è preferibile soddisfare ulteriori requisiti per ottenere un posizionamento il più realistico possibile.

Queste operazioni di ottimizzazione non lineare vincolate 411, 412 del modello virtuale degli occhiali 20 10 mira a perfezionare il posizionamento degli occhiali virtuali 10 risolvendo un'ulteriore ottimizzazione vincolata in cui una seconda funzione di costo è ancora definita in termini di distanze euclidee tra punti di ancoraggio 12, 22, vincoli ancora definiti in termini di 25 distanze punto-piano, ma la regione di ricerca dei valori minimi di distanza tra i rispettivi punti 12, 22 della prima 12 e della seconda serie di punti di ancoraggio 22 è limitata entro un intervallo di valori predefinito rispetto alla soluzione precedente.

30 L'intervallo di valori predefinito è uno degli iper-parametri attraverso i quali si modellizza il problema del posizionamento. Tali intervalli sono

ottenuti in maniera induttiva attraverso l'analisi e la modellizzazione dei requisiti espressi dagli esperti in materia.

L'intervallo di valori di ricerca si assesta 5 intorno ai parametri trovati precedentemente, ad esempio si può assestarsi tra il 2% e l'8%, preferibilmente 5%.

Ancora più preferibilmente il procedimento per posizionare 400 in modo ottimale il modello virtuale della montatura degli occhiali 10 con il modello virtuale 10 della testa della persona 20 comprende una terza procedura iterativa 430 che comprende una operazione di regolazione 433 degli occhiali virtuali 10.

Durante questa operazione di regolazione 433 degli occhiali virtuali 10 vengono risolti vantaggiosamente 15 tutti i problemi di collisione rilevanti, ancora esistenti, evitando la violazione di quei vincoli rispettati durante le fasi precedenti.

Durante la regolazione 433 degli occhiali virtuali 10 viene simulato uno scivolamento degli occhiali virtuali 10 lungo un naso virtuale del modello virtuale della testa 20 per garantire una inforcatura realistica degli occhiali o anche fornire agli utenti diversi livelli di aderenza a seconda delle proprie preferenze di inforcatura.

Poiché nella parte multistadio della metodologia proposta gli occhiali virtuali 10 sono trattati come 25 corpi rigidi e indefformabili, la soluzione di output mostra sempre gravi collisioni tra le aste 14 degli occhiali virtuali 10 e le tempie della testa virtuale 30. La montatura degli occhiali virtuali 10 viene quindi sottoposta alla successiva fase di deformazione.

Ancora più preferibilmente la terza procedura

iterativa 430 comprende una quarta operazione di deformazione 434 delle aste 14 del modello virtuale degli occhiali 10.

La quarta operazione di deformazione 434 deforma le 5 stanghe virtuali 14 della montatura virtuale 10 ed una quinta operazione di rilevamento di collisioni in due dimensioni 435 tra stanghe virtuali 14 e testa virtuale 20 utilizzando algoritmi di rilevamento delle collisioni per rilevare quando si verificano collisioni tra gli 10 occhiali virtuali 10 e la testa virtuale 20.

Preferibilmente per l'operazione di rilevamento di collisioni 435 tra stanghe virtuali 14 e testa virtuale 20 viene utilizzato un algoritmo di Gilbert-Johanson-Keerthi (GJK), che è progettato per l'uso con poliedri 15 convessi in 2D e 3D e viene utilizzato per superare questo problema in modo efficiente. GJK è un algoritmo per rilevamento delle collisioni.

Sebbene GJK sia progettato per funzionare sia in 2D che in 3D, preferibilmente è previsto di ridurre questo 20 problema 3D a un problema 2D. La soluzione riduce la dimensionalità del problema a un problema planare 2D determinando su quale piano bidimensionale 2D si trovano le stanghe 14 del modello di occhiali 10 e affettando il reticolo tridimensionale di punti 11 lungo questo piano. 25 Per affettare si intende spostarsi nel piano XZ, considerando la sezione della testa virtuale 20 passante per i punti di ancoraggio 22 in corrispondenza delle orecchie della testa virtuale 20. La raccolta di vertici dei poliedri convessi risultante formerà una base di 30 soluzione per l'algoritmo GJK che definisce una soluzione convessa dei poliedri convessi. L'insieme risultante dei vertici formerà l'inviluppo o la chiusura

dell'insieme dei vertici per l'algoritmo GJK. Qualora l'inviluppo non risulti completo, è necessaria una procedura di interpolazione, preferibilmente attraverso l'algoritmo Dyn-Levin-Gregory.

5 Se la base di soluzione non fa risultare il poliedro convesso, allora viene applicato un algoritmo separato per renderlo convesso. L'algoritmo GJK prevede infatti per ipotesi che la forma sia convessa.

10 L'operazione di regolazione 430 degli occhiali virtuali 10 prevede che le stanghe virtuali 14 vengano spostate dal processore dall'interno verso l'esterno fino a quando non smetteranno di entrare in collisione con le tempie virtuali della testa 20 e verranno annotati in memoria i punti di contatto da parte del processore.  
15 Questi punti di contatto diventeranno i centri dei punti di ancoraggio 22 di riferimento per le tempie della testa virtuale 20.

I vincoli sono definiti per il problema di minimizzazione e non vengono cambiati, né salvati.  
20

Vantaggiosamente il procedimento 100 adotta regole esplicite in una forma che facilita l'integrazione di nuove regole da parte di esperti in materia o dedotte dai dati.

Vantaggiosamente il tempo di calcolo dell'algoritmo GJK è notevolmente ridotto tramite la sua riformulazione bidimensionale 2D.  
25

Vantaggiosamente il procedimento 100 consente il posizionamento di occhiali virtuali 10 sul viso virtuale 20 come combinazione di ottimizzazione vincolata non lineare multistadio e algoritmi di rilevamento delle collisioni.  
30

Ancora più preferibilmente è possibile utilizzare

i dati ottimizzati del procedimento per posizionare 400 la montatura virtuale 10 sopra la testa virtuale 20 per far apprendere ad una intelligenza artificiale come individuare i punti di ancoraggio 22 della testa virtuale 5 20 in modo di determinare dati iniziali da cui far partire il procedimento 100.

Vantaggiosamente le operazioni di ottimizzazione sono soggette a vincoli ad hoc che possono essere guidati dai dati ottenuti dal procedimento 100 o suggeriti da 10 esperti in materia, come ad esempio ottici, infatti è possibile formalizzare vincoli esplicativi espressi dagli esperti in materia, gli ottici, oppure usare il machine learning per inferire regole da pattern ricorrenti in un'eventuale database di esempi di fitting corretti.

15 Vantaggiosamente l'implementazione del procedimento 100 attraverso un'intelligenza virtuale può consentire di mappare i punti di riferimento ottimali sul viso che sono fortemente correlati a diverse caratteristiche relative al soggetto, come ad esempio 20 una forma del naso, prominenza delle guance, ecc e alle caratteristiche degli occhiali come ad esempio materiale degli occhiali, geometria dei naselli, ecc.

L'intelligenza artificiale consente di apprendere automaticamente i punti di ancoraggio ottimali 22 del viso 20 sfruttando le informazioni provenienti dalle misurazioni fisiche delle teste di persone reali o dal procedimento per posizionare 400 in modo ottimale il modello virtuale della montatura degli occhiali 10 con il modello virtuale della testa della persona 20.

30 Il procedimento per posizionare 400 in modo ottimale il modello virtuale della montatura degli occhiali 10 con il modello virtuale della testa 20 della

persona implementato con l'intelligenza artificiale comprende una operazione di insegnamento dell'intelligenza artificiale attraverso l'inserimento di dati che comprendono modelli virtuali di occhiali 10 5 e modelli virtuali di teste 20 già accoppiati in modo che siano noti la serie di punti di ancoraggio 12, 22 ed i vincoli.

L'intelligenza artificiale viene istruita dal sistema di apprendimento a riconoscere i punti di 10 ancoraggio ottimali 12, 22 e i vincoli ottimizzati in base a dati accoppiati già noti.

In modo analogo è possibile insegnare all'intelligenza artificiale ad individuare i punti di ancoraggio 12 dell'occhiale virtuale 10 sia basandosi 15 sulle geometrie del modello 3D della montatura 10, sia tenendo conto delle caratteristiche del viso 20 dell'utente.

Durante la fase di apprendimento dell'intelligenza artificiale, l'operazione di posizionamento degli 20 occhiali virtuali 10 sul volto avviene per mezzo dello stesso algoritmo multi-stadio dettagliato nelle pagine precedenti. Durante questa fase, la rete neurale "impara" quali sono i punti ottimi di ancoraggio sul reticolo del volto. Il concetto di ottimo, in questo 25 caso, si riferisce alla minimizzazione di una funzione di costo basata sulla misurazione fisica in esame.

Durante la fase di inferenza, invece, dato un reticolo del volto ed il reticolo 11 degli occhiali virtuali 10, la rete fa una predizione (inferenza) dei 30 punti di ancoraggio sul reticolo del volto da utilizzare durante la procedura di posizionamento degli occhiali virtuali (procedura identica a quella descritta in

precedenza).

L'input del sistema è costituito da reticolli di facce 3D 20. Un'architettura basata sul deep learning estraе una serie di caratteristiche che, in questo 5 specifico scenario, rappresentano i punti di riferimento del viso 21 da utilizzare durante il procedimento per posizionare 400 in modo ottimale il modello virtuale della montatura degli occhiali 10 con il modello virtuale della testa della persona 20. Queste caratteristiche, 10 insieme ai punti di ancoraggio 12 degli occhiali virtuali 10, alimentano il sistema di posizionamento virtuale descritto sopra in modo deterministico. Il reticolo 21 della testa virtuale 20 con gli occhiali virtuali 10 indossati subisce un processo di ottimizzazione che 15 fornisce una stima della quantità fisica di interesse come ad esempio posizione delle pupille, forma del viso e forma della montatura degli occhiali.

Durante la fase di istruzione dell'intelligenza artificiale, per ogni input come ad esempio pupille, 20 viso e occhiali, è presente un valore di verità fondamentale per la quantità fisica di interesse. I parametri dell'architettura vengono appresi in modo da minimizzare una funzione di costo.

L'intelligenza artificiale addestrata come 25 descritto rappresenta un estrattore di caratteristiche che, dato un reticolo del viso 20 in ingresso ed un reticolo degli occhiali 10, è in grado di prevedere i punti di ancoraggio migliori 12, 22 del viso virtuale 20 e degli occhiali virtuali 10 da utilizzare per il 30 posizionamento virtuale degli occhiali 10. Tale modello migliora vantaggiosamente il risultato finale del montaggio della lente degli occhiali pur conservando

l'approccio esplicito basato su regole della procedura di montaggio della lente, con i suddetti vantaggi dell'ispezione dei risultati e del miglioramento continuo tramite regole e perfezionamenti dei vincoli e 5 dei punti di ancoraggio 12, 22.

In generale il procedimento per posizionare 400 in modo ottimale il modello virtuale della montatura degli occhiali con il modello virtuale della testa della persona è implementato per mezzo di un'intelligenza 10 artificiale che è addestrata fornendo in input i dati combinati che ottimizzano i punti di ancoraggio 12, 22 tra modelli virtuali di occhiali 10 e modelli virtuali di teste 20, in cui detta intelligenza artificiale addestrata riceve in input un reticolo tridimensionale 15 della testa 21 ed un reticolo tridimensionale degli occhiali 11, in cui l'intelligenza artificiale prevede i punti di ancoraggio ottimizzati 12, 22 da utilizzare per il posizionamento virtuale degli occhiali 10 in base all'addestramento ricevuto.

20 Vantaggiosamente il procedimento per posizionare 400 in modo ottimale il modello virtuale della montatura degli occhiali 10 con il modello virtuale della testa della persona 20 implementato con l'intelligenza artificiale comprende tecniche di apprendimento 25 automatico informate sulla fisica in cui la fase di apprendimento è supportata da fenomeni interpretabili fisicamente.

Vantaggiosamente tale soluzione preserva la possibilità di formulazione di regole esplicite 30 separando le componenti dell'apprendimento automatico dalla parte informata sulla fisica.

Il procedimento 100 dell'invenzione può essere

implementato in un programma per elaboratore comprendente un codice di computer che gira sul calcolatore elettronico che compie operazioni del procedimento 100.

5 Alternativamente è previsto che il procedimento 100 non comporti necessariamente la misurazione da remoto 201 della testa della persona, ma che la testa virtuale 20 sia caricata in memoria da precedenti misure attraverso il procedimento di caricamento 200 del 10 modello virtuale di testa 20.

Alternativamente è possibile prevedere che anche i punti di ancoraggio 12 della montatura virtuale 10 possono essere inferiti in modo automatico nella stessa modalità spiegata per i punti di ancoraggio 22 della 15 testa virtuale 20. In tal caso il procedimento di caricamento 300 prevede di calcolare i punti di ancoraggio 12.

Vantaggiosamente il procedimento per misurazioni di grandezze optometriche e per manipolazioni di una 20 montatura 100 consente di superare gli svantaggi dello stato della tecnica nota consentendo di ottenere un'accuratezza tale da avere tutti i dati per realizzare lenti per montature di occhiali prendendo misure da remoto necessarie per la manifattura delle lenti, per 25 produrre occhiali personalizzati, per restituire indicazioni estetiche sulla corretta posizione degli occhiali rispetto alla testa della persona, per valutare un grado di confortevolezza in relazione alla possibilità di deformazione di stanghette e montatura.

30 L'invenzione così concepita è suscettibile di numerose modifiche e varianti, tutte rientranti nell'ambito del concetto inventivo. In pratica i

materiali utilizzati, nonché le dimensioni, potranno essere qualsiasi a seconda delle esigenze tecniche.

Barzanò & Zanardo Milano S.p.A.

## RIVENDICAZIONI

1. Procedimento per misurare grandezze optometriche e per manipolazioni di una montatura (100) implementato in un calcolatore elettronico comprendente almeno un processore per eseguire operazioni ed almeno una memoria per immagazzinare dati,
  - 5 in cui detto procedimento (100) comprende un procedimento di caricamento (200) di un modello virtuale di una testa (20) di una persona in detta almeno una memoria comprendente,
  - 10 un procedimento di calcolo (202) di detta testa virtuale (20) che comprende un'operazione di realizzazione di detto modello virtuale di detta testa virtuale (20) comprendente un reticolo di una molteplicità di punti (21),
  - 15 un'operazione iterativa di calcolo che individua una molteplicità di punti di ancoraggio (22) scelti tra punti (21) di detta molteplicità di punti (21) della testa virtuale (20),
  - 20 un'operazione di calcolo di una molteplicità di vettori normali (23) che in corrispondenza di ogni punto di ancoraggio (22) della molteplicità di punti di ancoraggio (22) individua un piano geometrico che interpola una porzione di una testa reale di una persona
  - 25 e calcola un vettore normale (23) che è perpendicolare a detto piano geometrico,
  - 30 un procedimento di caricamento (300) di una montatura virtuale (10) di occhiali in detta almeno una memoria, in cui detta montatura virtuale (10) comprende un reticolo tridimensionale di punti (11) che comprendono una molteplicità di punti di ancoraggio (12),

un procedimento per posizionare (400) la montatura virtuale (10) sulla testa virtuale (20) che è un procedimento iterativo che prevede che detto almeno un processore calcoli iterativamente una molteplicità di dati di posizionamento di una posizione della montatura virtuale (10) rispetto alla testa virtuale (20) fino a raggiungere dati di posizionamento di un'accuratezza predefinita,

10 un procedimento di salvataggio (500) di detti dati di posizionamento di accuratezza predefinita in detta almeno una memoria,

15 un procedimento di calcolo (600) delle grandezze optometriche che prevede che detto almeno un processore elabora i dati di posizionamento di accuratezza predefinita e calcola le grandezze optometriche, in cui dette grandezze optometriche sono atte ad ottenere dati per realizzare lenti di occhiali.

20 2. Procedimento (100) secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto procedimento di caricamento (200) di detta testa virtuale (20) in detta almeno una memoria comprende un procedimento di misurazione da remoto (201) di caratteristiche fisiche di una testa di una persona atta ad indossare la montatura degli occhiali.

25 3. Procedimento (100) secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detto procedimento di misurazione di caratteristiche fisiche della testa (201) comprende almeno una operazione di scansione tridimensionale della testa della persona.

30 4. Procedimento (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-3, caratterizzato dal fatto che procedimento per posizionare (400) la montatura virtuale

(10) sopra la testa virtuale (20) comprende  
una prima procedura iterativa multistadio (410) che  
comprende

una operazione di ottimizzazione non lineare  
5 vincolata multistadio (411),

un'operazione di ottimizzazione non lineare  
vincolata (412)

una seconda procedura iterativa (420) che comprende  
una operazione di rilevamento di collisioni (421).

10 5. Procedimento (100) secondo la rivendicazione 4,  
caratterizzato dal fatto che detta operazione di  
ottimizzazione non lineare vincolata multistadio (411)  
comprende una operazione di allineamento (431) della  
montatura virtuale (10) rispetto alla testa virtuale  
15 (10), in cui detto almeno un processore cambia  
iterativamente una molteplicità di parametri che  
definiscono i due reticolli dei punti (11, 21)  
rispettivamente della montatura virtuale (10) e della  
testa virtuale (20) in modo da minimizzare una funzione  
20 di costo di una distanza tra ogni punto di ancoraggio  
(12) della montatura virtuale (10) ed ogni rispettivo  
punto di ancoraggio (22) della testa virtuale (20).

25 6. Procedimento (100) secondo la rivendicazione 5,  
caratterizzato dal fatto che la minimizzazione della  
funzione di costo avviene entro uno spazio di ricerca  
che è definito da una matrice di rotazione e traslazione  
della montatura virtuale (10), in cui detta  
minimizzazione si interrompe quando il processore  
individua una matrice di rotazione e traslazione che  
30 minimizza la funzione di costo secondo una tolleranza  
predefinita.

7. Procedimento (100) secondo una qualsiasi delle

rivendicazioni 4-6, caratterizzato dal fatto che il procedimento per posizionare (400) la montatura virtuale (10) sopra la testa virtuale (20) comprende

5 una terza procedura iterativa (430) che comprende una terza operazione di regolazione (433) degli occhiali virtuali (10) che simula uno scivolamento degli occhiali virtuali (10) su un naso virtuale della testa virtuale (20).2

8. Procedimento (100) secondo la rivendicazione 7,  
10 caratterizzato dal fatto che la terza procedura iterativa (430) comprende

una quarta operazione di deformazione (433) di stanghe (14) degli occhiali virtuali (10),

15 una quinta operazione di rilevamento di collisioni in due dimensioni (435) tra stanghe virtuali (14) e testa virtuale (20).

9. Procedimento (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 4-8, caratterizzato dal fatto che detta operazione di rilevamento di collisioni (421, 435)  
20 utilizza un metodo di calcolo della distanza punto piano.

10. Procedimento (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 4-8, caratterizzato dal fatto che detta operazione di rilevamento di collisioni (421, 435) utilizza un algoritmo di Gilbert-Johanson-Keerthi (GJK).

25 11. Procedimento (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-10 implementato con una intelligenza artificiale.

12. Programma per elaboratore caricabile nella memoria di un calcolatore elettronico comprendente  
30 istruzioni che, quando il programma è eseguito dal calcolatore, attuano un procedimento per adattare occhiali in modo personalizzato ad una testa di una

persona (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni  
1-11.

5 Barzanò & Zanardo Milano S.p.A.

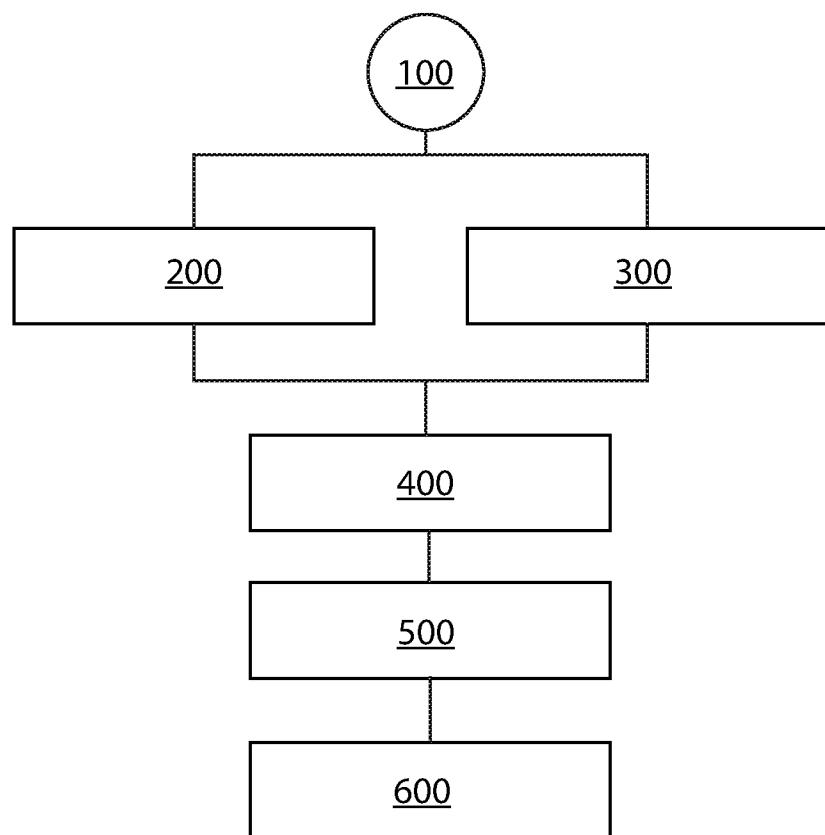


Fig. 1

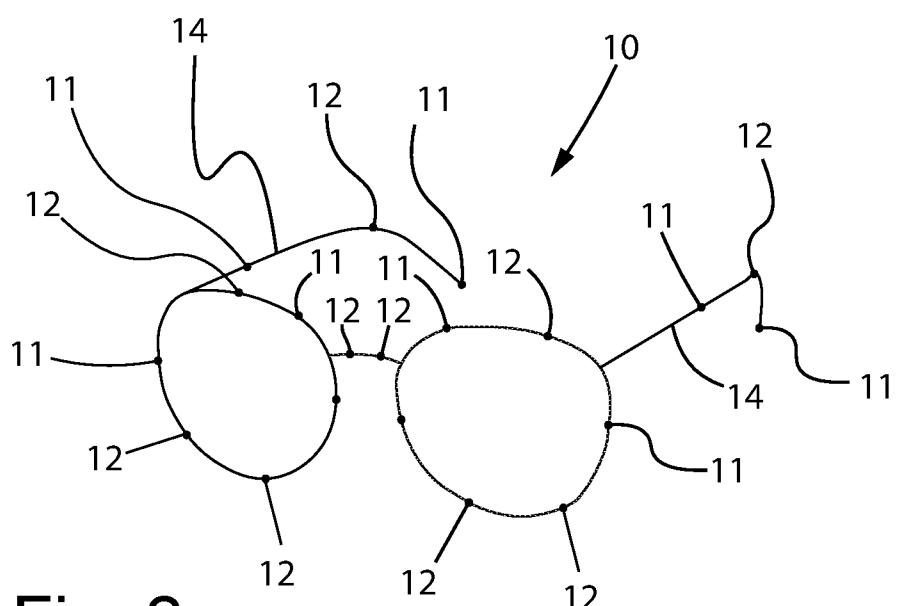


Fig. 2

2/3

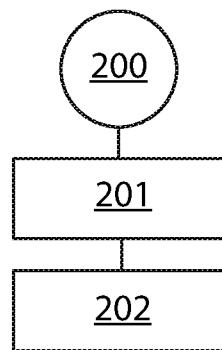
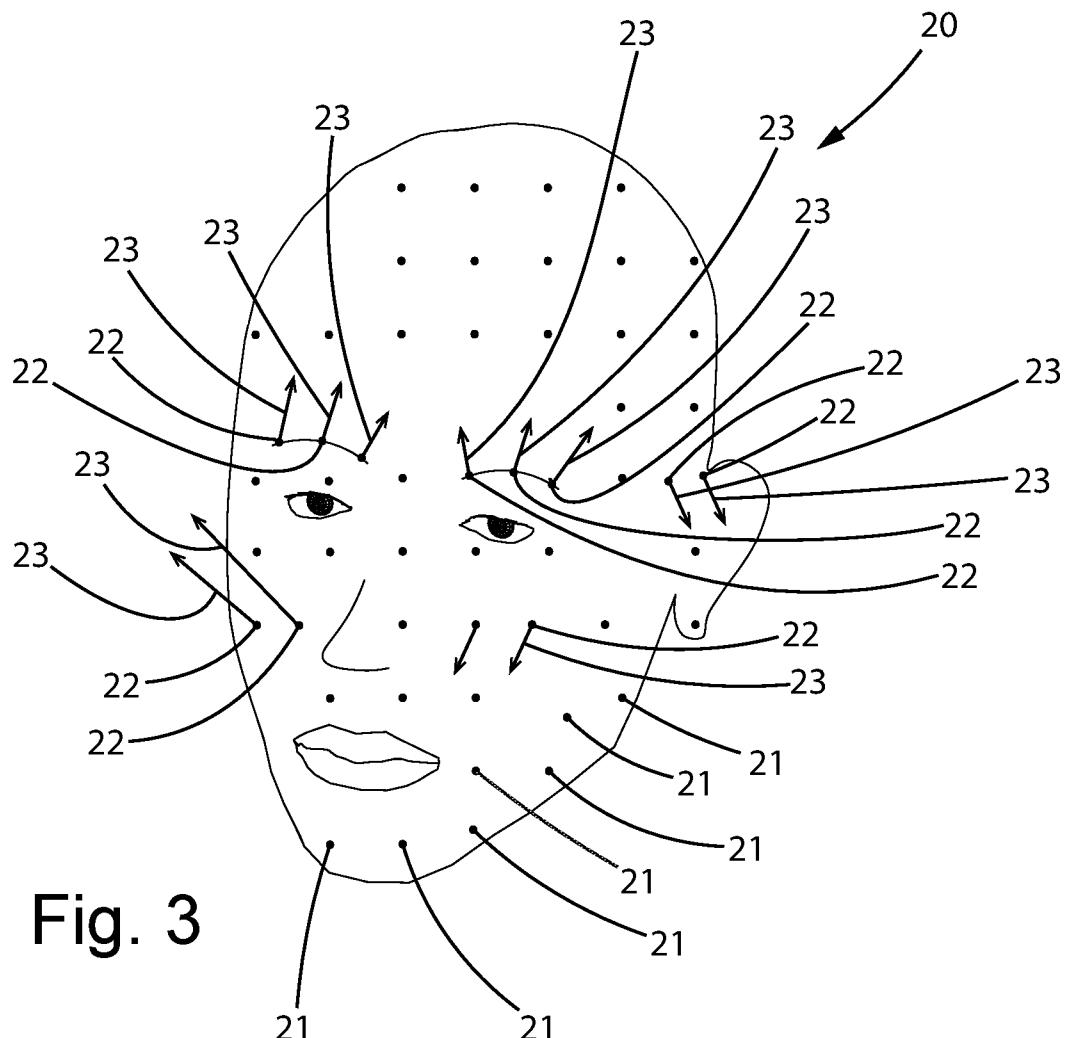


Fig. 4

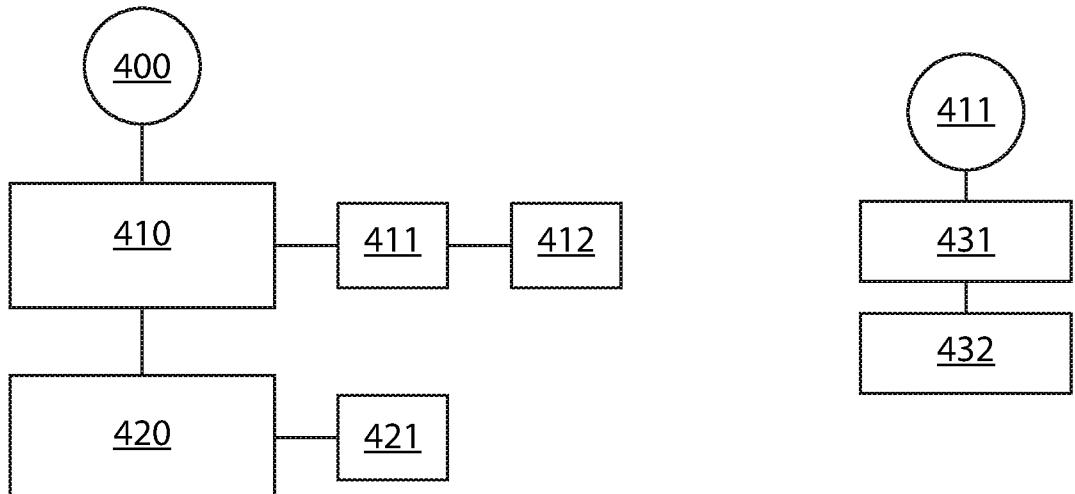


Fig. 5

Fig. 6

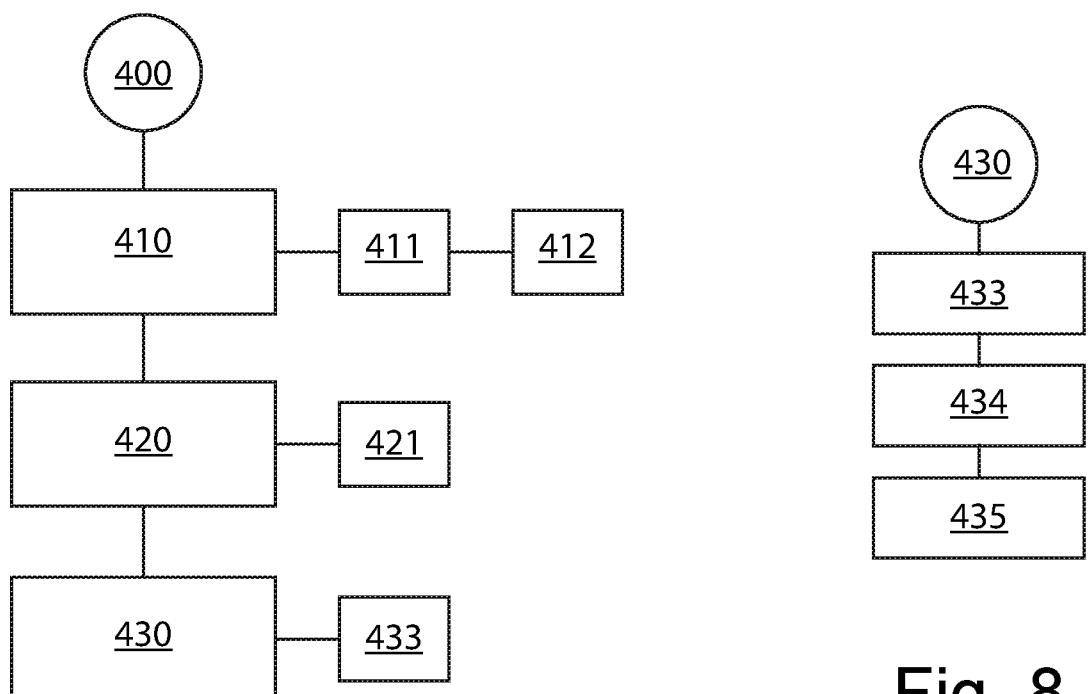


Fig. 7

Fig. 8