

METODO E SISTEMA DI STIMA DIMENSIONALE A PARTIRE DA IMMAGINI MONOSCOPICHE

Viene descritto un metodo di stima dimensionale a partire da un'immagine monoscopica, che prevede le fasi di: determinare un numero di punti fiduciali all'interno dell'immagine, definenti un'area fiduciale; eseguire un raddrizzamento prospettico dell'immagine sulla base dei punti fiduciali per ottenere un'immagine raddrizzata; ed eseguire misurazioni dimensionali tra punti dell'immagine raddrizzata. In particolare, la fase di eseguire il raddrizzamento prospettico comprende effettuare un raddrizzamento prospettico progressivo, differenziato tra punti dell'immagine appartenenti all'area fiduciale e punti dell'immagine che non appartengono all'area fiduciale.

Figure 2a, 2b.

D E S C R I Z I O N E

del brevetto per invenzione industriale

di UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO

di nazionalità italiana,

con sede in VIA VERDI, 8, TORINO

Inventori: LUCARDA Alvise Nazzareno, MACCHI Elisabetta,

PONZIO Patrizia, ANDOLFATTO Alice

*** **** **

La presente invenzione si riferisce ad un metodo e ad un sistema di stima dimensionale a partire da immagini monoscopiche; in particolare, la seguente trattazione farà particolare riferimento, senza per questo perdere in generalità, ad un utilizzo del metodo e sistema suddetti per misurazioni morfometriche o biometriche, ad esempio per misurazione di caratteristiche morfologiche di animali a partire da immagini fotografiche, o per applicazioni di diagnostica per immagini.

Sono noti sistemi di stima dimensionale che permettono di effettuare, a partire da immagini monoscopiche (ad esempio immagini fotografiche digitali o digitalizzate), misurazioni di oggetti in esse rappresentati. In modo noto, tali sistemi prevedono in generale una fase preliminare di raddrizzamento prospettico (il cosiddetto "raddrizzamento fotografico

classico") delle immagini sotto esame, al fine di recuperare la forma reale dell'oggetto come se si trattasse di una ripresa ortogonale. In particolare, il raddrizzamento fotografico classico opera in modo da trasformare la prospettiva generica dell'immagine sotto esame (che dipende non solo dalla posizione da cui viene osservato l'oggetto ma anche dalla rotazione della macchina da presa rispetto allo stesso oggetto) in una prospettiva centrale, ad un solo punto di fuga. In seguito all'elaborazione da parte di opportuni programmi di raddrizzamento, basati su tecniche che utilizzano punti di appoggio o vincoli geometrici, l'oggetto reale e l'immagine raddrizzata risultano diversi solo per un rapporto di scala, che può essere calcolato conoscendo almeno una misura nota sull'oggetto reale.

Tuttavia, la correzione apportata all'immagine risulta valida solamente per un piano, detto fotopiano di raddrizzamento, e dunque solamente per gli oggetti contenuti in tale fotopiano. Infatti, l'operazione di raddrizzamento fotografico classico comporta in generale una trasformazione di coordinate tra sistemi di riferimento piani (cosiddetta omografia). In maggiore dettaglio, all'interno dell'immagine vengono individuati una serie di cosiddetti "punti fiduciali", di cui per qualche ragione si conoscono in modo preciso le

coordinate spaziali (ad esempio per la presenza nelle vicinanze di un oggetto di forma e dimensione note che funge da riferimento nello spazio tridimensionale); i punti fiduciali definiscono una superficie fiduciale, solitamente definita "fotopiano di riferimento". I parametri della trasformazione omografa si ricavano individuando la trasformazione tra le coordinate tridimensionali reali dei punti fiduciali e le coordinate che gli stessi punti assumono all'interno dell'immagine.

Nel caso in cui l'oggetto da rilevare (di cui cioè si desidera fornire stime dimensionali) non sia piano (non sia cioè contenuto in un unico fotopiano di riferimento), le stime dimensionali in seguito all'operazione di raddrizzamento fotografico classico risultano affette da un errore tanto maggiore quanto è maggiore lo scostamento dal fotopiano di raddrizzamento, e nella maggior parte dei casi quindi quanto è maggiore la distanza tra i punti dell'immagine che devono essere misurati. L'applicazione del raddrizzamento fotografico classico è pertanto non indicata quando vi sia incertezza che i punti dell'immagine esterni alla superficie fiduciale si trovino sullo stesso piano dei punti fiduciali di coordinate spaziali note che la definiscono. Quasi sempre, tale incertezza aumenta in

modo più che lineare con l'aumentare della distanza dei punti dalla superficie fiduciale; pertanto, in assenza di riferimenti spaziali attendibili, il recupero dalla distorsione prospettica secondo la procedura classica in aree extra-fiduciali può costituire un arbitrio non sempre compatibile con il successivo utilizzo che si deve fare dell'immagine.

Un utilizzo particolarmente critico, e che richiede di garantire precisioni elevate, è appunto la misurazione digitale a partire da immagini monoscopiche. Le problematiche sopra dette incidono maggiormente quando ci si trovi ad operare con immagini di soggetti privi di squadratura e di simmetria geometrica, quali ad esempio gli animali in movimento, che possono assumere diverse posture del corpo in uno spazio privo di sufficienti riferimenti spaziali ben distribuiti nell'intorno.

Scopo della presente invenzione è pertanto quello di fornire un metodo ed un sistema che permettano di superare, in tutto o in parte, i suddetti problemi e limitazioni.

Secondo la presente invenzione, vengono pertanto forniti un metodo ed un sistema di stima dimensionale, come definiti nelle rivendicazioni 1 e, rispettivamente, 8.

Per una migliore comprensione dell'invenzione, ne vengono ora descritte forme di realizzazione, a puro titolo di esempio non limitativo e con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

- le figure 1a-1e illustrano in modo schematico operazioni di raddrizzamento prospettico progressivo secondo un aspetto della presente invenzione;

- le figure 2a e 2b mostrano un'immagine schematica prima e, rispettivamente, dopo un'operazione di raddrizzamento prospettico progressivo;

- le figure 3a-6a e 3b-6b mostrano ulteriori esempi di immagini prima e, rispettivamente, dopo l'operazione di raddrizzamento prospettico progressivo; e

- la figura 7 mostra un diagramma di flusso schematico relativo ad operazioni di stima dimensionale, secondo una forma di realizzazione della presente invenzione.

Un aspetto principale della presente invenzione prevede di attuare, ai fini dell'esecuzione di stime dimensionali a partire da un'immagine monoscopica, un'operazione di raddrizzamento prospettico differenziato per i vari punti dell'immagine, in particolare tra punti dell'immagine appartenenti ad un'area di riferimento definita da punti fiduciali (punti su cui è basato il raddrizzamento, in maniera

analoga a quanto descritto precedentemente), e punti dell'immagine esterni a tale area di riferimento.

L'operazione di raddrizzamento viene eseguita (come sarà descritto in dettaglio in seguito) in modo ridotto per i punti dell'immagine di cui non è certa l'appartenenza all'area definita dai punti fiduciali, mentre coincide sostanzialmente con il raddrizzamento fotografico classico nelle porzioni dell'immagine comprese all'interno degli stessi punti fiduciali; più precisamente, nelle porzioni dell'immagine esterne all'area fiduciale viene effettuato un recupero prospettico progressivamente più blando a mano a mano che ci si allontana dalla stessa area fiduciale. L'operazione di raddrizzamento secondo la presente invenzione viene pertanto definita "raddrizzamento prospettico progressivo".

I principi su cui si basa il suddetto raddrizzamento prospettico progressivo vengono ora illustrati con riferimento alle figure 1a-1e.

La figura 1a è relativa ad una sbarretta rettangolare 1 ritratta in prospettiva; nella stessa figura 1a sono mostrate inoltre le posizioni di cinque possibili coppie di punti fiduciali P1-P5 appartenenti a tale sbarretta. In modo evidente, se la sbarretta fosse ripresa di lato ortogonalmente assumerebbe la forma del

rettangolo tratteggiato, e cioè esattamente la stessa forma che assumerebbe in seguito ad un raddrizzamento fotografico di tipo classico. Nella realtà tridimensionale non è dato sapere se la sbarretta è diritta (quindi con tutti i punti che la costituiscono situati sul medesimo fotopiano), oppure curva: l'immagine fotografica bidimensionale non può fornire alcuna informazione al riguardo, quando nella foto manchino precisi riferimenti spaziali tridimensionali.

Il raddrizzamento prospettico progressivo ai fini di misurazione viene quindi effettuato solo su dati certi, come quelli all'interno della superficie fiduciale definita dalle coppie di punti fiduciali P1-P5 (punti di cui si conoscono le coordinate nello spazio, ad esempio per la presenza di un oggetto di forma e dimensione nota vicino alla sbarretta, che funge da riferimento nello spazio tridimensionale).

Nelle figure 1b-1e viene illustrato in modo semplificato il risultato dell'operazione di raddrizzamento progressivo della sbarretta rettangolare 1 all'aumentare dell'area fiduciale (evidenziata dal rettangolo tratto-punto definito dai punti fiduciali) e del numero di punti fiduciali identificati nell'immagine. Il raddrizzamento prospettico progressivo effettua un recupero della forma rettangolare reale

tanto più ridotto quanto è minore l'estensione della superficie fiduciale mentre, all'aumentare della stessa superficie fiduciale, si avvicina al risultato del raddrizzamento fotografico classico. Il raddrizzamento prospettico progressivo è pertanto conservativo, in quanto agisce in modo differenziato sulle aree fiduciali e non fiduciali dell'immagine sotto esame.

In particolare, vengono effettuate correzioni prospettiche progressivamente minori nelle aree via via più lontane dai punti fiduciali, secondo un gradiente definito da una determinata funzione matematica di raddrizzamento. Tale gradiente di raddrizzamento corrisponde ad una "progressiva inerzia" da parte dei punti più lontani dalla superficie fiduciale a scostarsi dalle coordinate iniziali per assumere le nuove coordinate determinate dalla funzione di rimappatura su cui è basato il raddrizzamento. In termini ancora diversi, il raddrizzamento prospettico progressivo consente di estrapolare anche al resto dell'immagine il raddrizzamento effettuato nella superficie fiduciale, ma l'estrapolazione viene realizzata in modo conservativo, secondo un determinato modello matematico (funzione di raddrizzamento a gradiente).

Il suddetto raddrizzamento prospettico progressivo opera sull'assunzione che i punti dell'immagine più

vicini ai punti fiduciali abbiano maggior probabilità di essere vicini al fotopiano che li contiene, e che tale probabilità diminuisca per i punti che nell'immagine si trovano più lontani dagli stessi punti fiduciali.

La presente richiedente ha constatato che la suddetta operazione di raddrizzamento prospettico progressivo viene vantaggiosamente ottenuta applicando ai punti (o pixel) dell'immagine sotto esame una funzione di trasformazione nota come "Thin-Plate Spline" (TPS), definente un particolare fenomeno fisico (come descritta dal suo autore, Bookstein F. L., in "Principal Warps: Thin Plate Splines and the Decomposition of Deformations" IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. Vol. 11, No. 6, 567-585, June 1989, il cui contenuto si considera incorporato interamente nella presente domanda). Tale funzione di trasformazione definisce il suddetto gradiente di raddrizzamento, e quindi l'entità dello scostamento della funzione di raddrizzamento progressivo rispetto al raddrizzamento fotografico classico, al di fuori dell'area fiduciale dell'immagine.

In modo di per sé noto, la tecnica del Thin-Plate Spline prevede l'utilizzo di una funzione interpolante (nota in generale come "TPS warp") per rimappare, nel piano di una nuova immagine deformata, le coordinate dei punti dell'immagine di origine, sulla base di un numero

di punti fiduciali, o landmark. Tali punti fiduciali possono essere esterni all'oggetto di cui si devono effettuare stime dimensionali (ed appartenere ad esempio ad un oggetto vicino), oppure essere dei landmark interni all'oggetto stesso. La funzione interpolante non necessita di parametri o coefficienti che devono essere predefiniti in modo arbitrario, i coefficienti e i parametri che vengono calcolati risultano univoci (una volta definiti i punti fiduciali), e la funzione è rappresentata da una polinomiale continua con derivate di diverso grado. Inoltre, alla funzione interpolante TPS warp è possibile associare una funzione matematica, la "bending energy", che in fisica della materia ha una corrispondenza reale e ben definita con la quantità di energia da applicare ad una sottile lamina metallica per determinarne una deformazione tale che la sua superficie vada ad interpolare dei punti di coordinate predeterminate, detti appunto punti fiduciali o nodi (si veda anche: G. Wahba, 1990, "Spline models for observational data" Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, il cui contenuto si considera interamente incorporato nella presente domanda).

In maggiore dettaglio, in un' immagine, dato un set di n punti definiti da coordinate bidimensionali, la funzione interpolante TPS warp è descritta da $2 \cdot (n+3)$

parametri che sono calcolati risolvendo una funzione di tipo lineare. Di questi parametri, alcuni sono implicati in deformazioni uniformi dell'immagine ("global rigid transformations", definite da Bookstein "affine warping transformations"), altri in deformazioni non uniformi e localizzate ("local non-rigid transformations", definite dallo stesso Bookstein "non-affine warping transformations"). Risulta così possibile effettuare la rimappatura di tutti i punti di una immagine digitale secondo una funzione di distorsione (la funzione TPS), definita sulla base del grado di distorsione subita da alcuni punti di coordinate spaziali note (i punti fiduciali).

Il recupero prospettico di tutti i punti dell'immagine secondo il raddrizzamento prospettico progressivo viene quindi eseguito tenendo conto della differenza tra la disposizione dei punti fiduciali nell'immagine ritratta e la loro disposizione nello spazio reale tridimensionale.

In sintesi (per una completa trattazione matematica si faccia invece completo riferimento al suddetto articolo a nome Bookstein), si può dapprima definire la funzione speciale $U(r)$:

$$z(x,y)=-U(r)=-r^2 \log r^2, \quad r=\sqrt{x^2+y^2}$$

Si possono quindi definire le matrici K , P , L ,

utilizzando le seguenti espressioni:

$$K = \begin{bmatrix} 0 & U(r_{12}) & \dots & U(r_{1n}) \\ U(r_{21}) & 0 & \dots & U(r_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ U(r_{n1}) & U(r_{n2}) & \dots & 0 \end{bmatrix}, \quad P = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & y_n \end{bmatrix}, \quad L = \left[\begin{array}{c|c} K & P \\ \hline P^T & 0 \end{array} \right]$$

in cui $P_1=(x_1, y_1), \dots, P_n=(x_n, y_n)$ sono n punti fiduciali (landmark) nel piano cartesiano; ed in cui $r_{ij}=|P_i - P_j|$ indicano le distanze tra i punti i e j .

Si definisce inoltre la matrice V , mediante l'espressione:

$$V = \begin{bmatrix} x'_1 & x'_2 & \dots & x'_n \\ y'_1 & y'_2 & \dots & y'_n \end{bmatrix}$$

dove ciascun punto (x'_i, y'_i) è il corrispondente omologo del punto fiduciale (x_i, y_i) nello spazio immagine, in cui lo stesso punto fiduciale viene mappato.

Il vettore $W=(w_1, \dots, w_n)$ ed i coefficienti a_1, a_x, a_y vengono definiti tramite l'espressione:

$$L^{-1}Y = (W | a_1 \ a_x \ a_y)^T, \quad Y = (V | 0 \ 0 \ 0)^T$$

Si può quindi definire la funzione di trasformazione (TPS warp) $f(x, y)$:

$$f(x, y) = a_1 + a_x x + a_y y + \sum_{i=1}^n w_i U(|P_i - (x, y)|)$$

in cui i primi tre termini descrivono le cosiddette "global affine transformations", ed i restanti termini le cosiddette "local non-linear transformations"; la funzione $f(x, y)$ soddisfa la proprietà interpolante $f(x_i, y_i) = v_i$, per tutti gli indici i .

Si può infine definire la funzione "bending energy" associata alla funzione $f(x,y)$, proporzionale alla quantità:

$$I(f) = \iint_{R^2} (f_{xx}^2 + 2f_{xy}^2 + f_{yy}^2) dx dy$$

L'immagine che si ottiene con il raddrizzamento prospettico progressivo risulta deformata così come gli oggetti ritratti al suo interno che, se di forma geometrica squadrata (ad esempio cubica) ed esterni all'area fiduciale, possono apparire distorti. Test eseguiti dalla presente richiedente hanno tuttavia dimostrato che il raddrizzamento prospettico progressivo risulta essere conservativo sotto il profilo metrico e dimensionale, e pertanto particolarmente indicato per gli ambiti applicativi precedentemente indicati (ad esempio per effettuare misurazioni digitali di distanze in applicazioni biometriche). In particolare, è stato dimostrato che risulta possibile ottenere stime più accurate delle misure reali dei soggetti ritratti nelle immagini, a cui sono inoltre associati una maggiore precisione ed un minor errore, rispetto al caso di misurazioni ottenute senza raddrizzamento, o a seguito di un raddrizzamento prospettico di tipo fotografico classico.

Le figure 2a, 2b illustrano un ulteriore esempio schematico di come agisca il raddrizzamento prospettico

progressivo, con riferimento ad un'immagine bidimensionale di una nota musicale 2, disegnata sulla superficie di un cilindro e quindi ripresa, ad esempio mediante una fotografia digitale, secondo una prospettiva che in trasposizione bidimensionale ne comporta una deformazione (deformazione prospettica). La nota musicale 2, secondo una rappresentazione ortogonale della forma reale, presenta una testa 3 circolare ed una coda 4 rettilinea. In questo esempio, per il raddrizzamento, vengono utilizzati quattro punti fiduciali P1-P4, uniformemente distribuiti sul perimetro della testa 3. In particolare, la figura 2a mostra la nota 2 ripresa nella suddetta prospettiva (con una conseguente deformazione per compressione dell'immagine bidimensionale risultante), ed in linea tratteggiata la stessa nota musicale 2 ripresa ortogonalmente; la figura 2b mostra invece il risultato del raddrizzamento prospettico progressivo. Nelle figure 2a e 2b viene mostrata, con frecce di lunghezza diversa, l'entità delle "forze di raddrizzamento" agenti lungo l'asse orizzontale sui punti dell'immagine per modificarne le coordinate. Queste forze si distribuiscono secondo una funzione di raddrizzamento a gradiente F (la funzione TPS warp). Come illustrato nelle figure 2a, 2b, i punti all'interno della superficie fiduciale definita dai

punti fiduciali P1-P4 subiscono la massima trasformazione di coordinate per riportare la testa 3 alla sua forma originale (circolare), mentre i punti all'esterno di, e via via più lontani da, tale superficie fiduciale subiscono una trasformazione tanto minore quanto maggiore è la distanza dai punti fiduciali stessi, causando una evidente deformazione della coda 4 della nota musicale 2.

Le figure a coppie 3a-3b, 4a-4b, 5a-5b, e 6a-6b si riferiscono ad operazioni di raddrizzamento prospettico progressivo (le figure 3a-6a mostrando l'immagine prima del raddrizzamento, e le figure 3b-6b mostrando la stessa immagine in seguito al raddrizzamento) eseguite su un'immagine composta da un parallelepipedo principale 5 munito di landmark interni (punti fiduciali, evidenziati nelle suddette figure) ed un parallelepipedo satellite 6 di dimensioni minori, disposto in differenti posizioni e orientato in modi diversi rispetto al parallelepipedo principale 5. Da un esame visivo delle suddette figure è evidente che al recupero prospettico del parallelepipedo principale 5 (la cui faccia definita dai punti fiduciali diventa molto prossima ad un rettangolo) è associata una deformazione del parallelepipedo satellite 6, quanto più quest'ultimo si trova lontano dai punti fiduciali sul parallelepipedo

principale 5, che sono stati utilizzati per il raddrizzamento prospettico progressivo. Nonostante la deformazione apportata con il raddrizzamento prospettico progressivo, effettuando misurazioni delle diverse parti del parallelepipedo satellite 6, si può dimostrare come l'errore di stima delle dimensioni reali dello stesso parallelepipedo satellite sia sempre significativamente minore rispetto a qualunque altro tipo di misurazione effettuata sia direttamente sulla foto affetta da deformazione prospettica sia sulla foto raddrizzata secondo le tecniche di raddrizzamento fotografico classico.

La seguente tabella (Tabella 1) illustra i risultati di analisi statistiche effettuate su dati sperimentali, relativi all'utilizzo del metodo di stima dimensionale proposto con le immagini mostrate nelle figure 3a-6a, 3b-6b.

In particolare, le misurazione degli oggetti reali sono state eseguite in modo diretto mediante calibro tipo MITUTOYO (Japan) JEWELD no.505-646 con precisione 0.02 mm; per la definizione delle misure reali e delle distanze tra i landmark sono stati utilizzati i valori medi ottenuti da 20 ripetizioni delle misure. Le misurazioni sulle immagini sono state effettuate utilizzando il public domain software ImageJ (ver.

1.36b; <http://rsb.info.nih.gov.ij/>); sono state eseguite le stime delle misure ricercate utilizzando i valori medi (media aritmetica) ottenuti da 20 misurazioni indipendenti effettuate su immagine mediante il calibro digitale del software. L'errore standard associato alle misure è stato calcolato utilizzando un comune software di calcolo. I valori riportati in tabella si riferiscono alle medie aritmetiche delle stime e degli errori standard ottenuti per ogni immagine analizzata.

Tabella 1

| Misura reale | Nessun Raddrizz. | Raddrizz. Fotografico Classico | Raddrizz. prospettico Progressivo | |
|--------------|------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| 9,865 | 9,796 | 9,790 | 9,827 | Stima (cm) |
| | 0,039 | 0,034 | 0,031 | Errore (cm) |

Risulta evidente che il metodo illustrato combina un minore errore con una maggiore accuratezza nella stima dimensionale.

Vengono ora brevemente descritte, con riferimento alla figura 7, le operazioni richieste per l'esecuzione di stime dimensionali a partire da immagini monoscopiche.

In primo luogo, un'immagine monoscopica di un oggetto da misurare viene acquisita e digitalizzata, blocco 10.

Quindi, vengono definiti all'interno dell'immagine una pluralità di punti fiduciali (in particolare in numero almeno pari a tre), aventi coordinate tridimensionali reali note, blocco 11.

Si determinano quindi, a partire dalle coordinate reali (nello spazio tridimensionale) e dalle coordinate immagine (all'interno dell'immagine monoscopica) dei suddetti punti fiduciali, i termini della funzione di trasformazione Thin-Plate Spline da applicare a tutti i punti dell'immagine per eseguirne il raddrizzamento prospettico progressivo, facendo coincidere le coordinate bidimensionali dei punti fiduciali con quelle reali tridimensionali, blocco 12.

In seguito, si esegue il raddrizzamento prospettico progressivo di tutti i punti dell'immagine utilizzando la funzione TPS, blocco 13, e successivamente si effettuano le misure desiderate tra punti selezionati dell'immagine stessa, blocco 14 (ad esempio per determinare grandezze morfologiche di un animale in essa rappresentato).

È evidente che il metodo proposto può essere implementato da un opportuno sistema comprendente un

dispositivo di elaborazione (ad esempio a microprocessore), dotato di un opportuno codice software e di opportuni elementi di interfaccia e di interazione con un utente (quali ad esempio un elemento di visualizzazione ed un elemento di selezione), atti a consentire, tra l'altro, le operazioni di: acquisizione dell'immagine monoscopica; definizione dei punti fiduciali; determinazione dei termini della funzione di trasformazione prospettica progressiva; esecuzione della trasformazione stessa; ed esecuzione di misurazioni dimensionali tra punti dell'immagine.

I vantaggi che il metodo ed il sistema descritti consentono di ottenere emergono chiaramente dalla discussione precedente.

In particolare, risulta possibile effettuare con tecniche digitali un raddrizzamento prospettico progressivo su immagini monoscopiche per:

- ottenere stime dimensionali da foto digitali con associato un maggior grado di precisione ed un minore errore;

- eseguire misurazioni su immagini acquisite con tecniche di ripresa poco sofisticate e affette da deformazione prospettica, ad esempio foto di archivio, foto storiche o foto naturalistiche; ed

- eseguire studi biometrici e di monitoraggio

clinico-diagnostico nell'ambito biologico, naturalistico e veterinario, ad esempio misurazioni biometriche da fotografie di animali selvatici in assenza di riferimenti prospettici ambientali (utili per monitorare l'accrescimento di un giovane tursiope in un delfinario, avendo come unico riferimento spazio-dimensionale la madre che ha completato la crescita), e applicazioni nell'ambito della diagnostica per immagini (radiografie, ecografie, risonanze magnetiche con ricostruzione tridimensionale).

Vantaggiosamente, il raddrizzamento prospettico progressivo assicura una maggiore probabilità di approssimarsi ad un raddrizzamento "ideale", ogni qual volta non esistano fondati elementi che diano informazioni sull'orientamento relativo nello spazio tra i punti fiduciali e gli oggetti da misurare.

In applicazioni biometriche, il metodo proposto risulta una vantaggiosa alternativa alla fotogrammetria a corto raggio, che presenta costi maggiori e richiede complesse attrezzature specifiche.

Risulta infine evidente che a quanto descritto ed illustrato possono essere apportate modifiche e varianti, senza uscire dall'ambito di protezione della presente invenzione, come definito dalle rivendicazioni allegate.

Ad esempio, la definizione dei punti fiduciali da utilizzare per le operazioni di raddrizzamento progressivo potrebbe avvenire in modo iterativo, valutando il risultato delle operazioni di raddrizzamento in seguito all'esclusione/inclusione di ulteriori punti fiduciali, in modo da valutare robustezza, ridondanza o inconsistenza dei punti fiduciali scelti, ed arrivare iterativamente ad un risultato ottimale.

R I V E N D I C A Z I O N I

1. Metodo di stima dimensionale a partire da un'immagine monoscopica, comprendente le fasi di:

- determinare un numero di punti fiduciali all'interno di detta immagine, detti punti fiduciali definendo un'area fiduciale;

- effettuare un raddrizzamento prospettico di detta immagine sulla base di detti punti fiduciali per ottenere un'immagine raddrizzata; ed

- effettuare misurazioni dimensionali tra punti di detta immagine raddrizzata,

caratterizzato dal fatto che detta fase di effettuare detto raddrizzamento prospettico comprende effettuare un raddrizzamento prospettico progressivo, differenziato tra punti di detta immagine appartenenti a detta area fiduciale e punti di detta immagine che non appartengono a detta area fiduciale.

2. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui detta fase di effettuare detto raddrizzamento prospettico progressivo differenziato comprende applicare una prima correzione prospettica ai punti di detta immagine in corrispondenza di detta area fiduciale, ed una seconda correzione prospettica, di intensità inferiore rispetto a detta prima correzione prospettica, ai punti di detta immagine esterni a detta area fiduciale.

3. Metodo secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui detta fase di effettuare detto raddrizzamento prospettico progressivo differenziato comprende applicare una funzione di trasformazione a gradiente ai punti di detta immagine.

4. Metodo secondo la rivendicazione 3, in cui detta fase di effettuare detto raddrizzamento prospettico progressivo comprende applicare ai punti di detta immagine una funzione di trasformazione Thin-Plate Spline.

5. Metodo secondo la rivendicazione 3 o 4, in cui detta funzione di trasformazione a gradiente è una funzione interpolante TPS warp.

6. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detta immagine monoscopica è un'immagine fotografica digitalizzata, e dette misurazioni dimensionali si riferiscono a caratteristiche morfologiche di un soggetto contenuto in detta immagine.

7. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detta fase di determinare un numero di punti fiduciali comprende determinare un numero di punti di detta immagine di cui si conoscono le coordinate tridimensionali nello spazio.

8. Sistema di stima dimensionale a partire da

un'immagine monoscopica, comprendente un dispositivo di elaborazione configurato in modo da: effettuare un raddrizzamento prospettico di detta immagine sulla base di un numero di punti fiduciali all'interno di detta immagine per ottenere un'immagine raddrizzata, detti punti fiduciali definendo un'area fiduciale; ed effettuare misurazioni dimensionali tra punti di detta immagine raddrizzata,

caratterizzato dal fatto che detto dispositivo di elaborazione è configurato in modo da effettuare un raddrizzamento prospettico progressivo, differenziato tra punti di detta immagine appartenenti a detta area fiduciale e punti di detta immagine che non appartengono a detta area fiduciale.

9. Sistema secondo la rivendicazione 8, in cui detto dispositivo di elaborazione è configurato in modo da applicare una prima correzione prospettica ai punti di detta immagine in corrispondenza di detta area fiduciale, ed una seconda correzione prospettica, di intensità inferiore rispetto a detta prima correzione prospettica, ai punti di detta immagine esterni a detta area fiduciale.

10. Sistema secondo la rivendicazione 8 o 9, in cui detto dispositivo di elaborazione è configurato in modo da applicare una funzione di trasformazione a gradiente

ai punti di detta immagine.

11. Sistema secondo la rivendicazione 10, in cui detto dispositivo di elaborazione è configurato in modo da applicare ai punti di detta immagine una funzione di trasformazione Thin-Plate Spline.

12. Sistema secondo la rivendicazione 10 o 11, in cui detta funzione di trasformazione a gradiente è una funzione interpolante TPS warp.

13. Sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 8-12, in cui detta immagine monoscopica è un'immagine fotografica digitalizzata, e dette misurazioni dimensionali si riferiscono a caratteristiche morfologiche di un soggetto contenuto in detta immagine.

14. Prodotto di programma informatico, comprendente istruzioni per elaboratore in grado di implementare, quando eseguite in un dispositivo di elaborazione di un sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 8-13, un metodo di stima dimensionale secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-7.

p. i.: UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO