

## **La fotogrammetria digitale per la localizzazione in ambiente indoor mediante smartphone**

Irene Aicardi (\*), Horea Bendea (\*), Andrea Maria Lingua (\*), Paolo Maschio (\*),  
Marco Piras (\*), Giorgio Ghinamo (\*\*)

(\*) Politecnico di Torino - DIATI, Corso Duca degli Abruzzi, 24 - Italy, email: irene.aicardi@polito.it, iosif.bendea@polito.it, andrea.lingua@polito.it, paolo.maschio@polito.it, marco.piras@polito.it  
(\*\*) Telecom Italia Lab, via Reiss Romoli, Torino, 274 - Italy, email: giorgio.ghinamo@telecomitalia.it

### **Riassunto**

Lo sviluppo tecnologico degli ultimi anni ha proposto soluzioni tecniche e tecnologiche rivolte al coinvolgimento attivo degli utenti nello scambio di informazioni e dati, sempre più legati alla loro posizione sul territorio, ovvero geolocalizzati o meglio georeferenziati.

Esistono ad oggi diversi sistemi (fotocamere, smartphone e *mobile devices* in generale) che permettono il posizionamento delle foto integrando dati legati alla tecnologia GPS/GNSS. Tuttavia in ambienti urbani densamente edificati e in applicazioni speciali e indoor (*augmented reality*, *location based services* e altro), con questa tecnologia di posizionamento in tempo reale non si riesce ad ottenere una soluzione accettabile a causa della cattiva o inesistente ricezione dei segnali provenienti dai satelliti.

La metodologia di *image based positioning* proposta dagli autori nell'ambito di una collaborazione tra il Politecnico di Torino e la Telecom e applicata alle immagini acquisite dalle camere digitali integrate nei moderni cellulari/smartphone, tenta di colmare questa lacuna garantendo l'ottenimento di una soluzione di posizione con precisioni accettabili per la gran parte delle applicazioni.

Si prevede l'utilizzo di un database di immagini disponibili tra cui scegliere quella più prossima a quella scattata ricorrendo all'operatore di SIFT e raffinando la soluzione mediante un approccio fotogrammetrico rigoroso basato sulla trasformazione delle *feature* estratte sull'immagine in veri e propri punti di appoggio mediante un modello 3D della zona in forma di nuvola di punti.

La procedura è stata testata in un poligono indoor composto da alcuni ambienti differenziati rilevato mediante tecnica laser scanner terrestre in cui i parametri di orientamento esterno delle singole immagini da posizionare sono stati rilevati mediante l'utilizzo di un apposito apparato che ne permettesse il loro rilevamento diretto con tecnica topografica.

### **Abstract**

*In recent years, technological development has been increasingly directed towards the active involvement of the user in the exchange of information and data, preferably geolocated.*

*The project derived from the collaboration between Politecnico di Torino and TELECOM and has as its objective the development of algorithms and procedures for localization using images in indoor and outdoor environments, and possibly real time with decimeter precision.*

*There are today several systems (cameras, smartphones and mobile devices in general) which permit the placement of the photos by integrating data related to GPS technology. However, the accuracies can be as tens of meters in built and indoors environments, when a solution can be obtained.*

*The methodology of image-based positioning proposed by the authors uses images captured by digital cameras built into modern phones / smartphones and attempts to fill this gap by ensuring the achievement of a position solution with accuracies acceptable for most applications. It involves*

*the use of a database of images available to choose the one closest to the one taken by resorting to the SIFT operator and refining the solution by means of a photogrammetric rigorous approach based on the transformation of the feature extracted image in real Ground Control Points using a 3D model of the area in the form of point cloud.*

*The procedure has been tested in a polygon composed of some indoor environments surveyed by terrestrial laser scanning technique in which the parameters of the external orientation of the individual images to be placed were detected by the use of an apparatus that would allow their direct detection by topographical survey technique.*

## **Introduzione**

La possibilità di usufruire dei servizi di geolocalizzazione per la ricerca della posizione o di informazioni relative al luogo è ad oggi molto legata all'uso del GPS.

La procedura proposta presenta quindi diversi vantaggi legati essenzialmente alla possibilità di usufruire dei servizi da qualsiasi telefono dotato di una connessione Internet. Inoltre, garantisce il funzionamento anche in ambienti interni, in cui la ricezione del segnale GPS/GNSS è debole (Muthukrishnan et al., 2005).

L'approccio considerato prevede la costruzione di un database di immagini, accompagnato da un rilievo laser scanner e fotografico, che sarà il riferimento per le operazioni di *matching* con le immagini del cellulare (Cho, 1996). Il punto focale della ricerca risiede tuttavia nella necessità di ottenere precisioni tali da permettere un buon posizionamento dello smartphone con accuratezze decimetriche, determinando, al tempo stesso, la stima dell'assetto angolare necessario in applicazioni di *augmented reality*.

## **La calibrazione della fotocamera dello smartphone**

Il dispositivo utilizzato per i rilievi è uno smartphone con fotocamera integrata, non metrica, che quindi necessita di una calibrazione attraverso procedure analitiche per studiare le caratteristiche del sistema meccanico-digitale, valutare i parametri di distorsione e gli altri errori imputabili a esso.

In particolare, la calibrazione mira a valutare gli effetti dovuti alla distorsione radiale, tangenziale e affine del sensore che intervengono nella definizione dell'orientamento interno della camera andando a modificare le equazioni di collinearità: in genere, per semplicità in molte applicazioni è sufficiente considerare solamente gli effetti della distorsione radiale (ASPRS, 2004).

Le modalità di calibrazione analitiche delle camere terrestri sono solitamente suddivise in *on-the-job calibration* e *self-calibration*. La calibrazione *on-the-job* si basa sulla determinazione dei parametri di orientamento e di distorsione contestualmente alla fase di rilievo fotogrammetrico utilizzando simultaneamente le prese fotografiche dell'oggetto e punti di coordinate note.

La procedura di *self-calibration*, utilizzata per la nostra applicazione, è un'estensione del concetto di calibrazione *on-the-job* e si basa sulla determinazione dei parametri di calibrazione effettuata indipendentemente dalle procedure di rilievo fotogrammetrico. Generalmente viene eseguita predisponendo un reticolo di calibrazione, appositamente realizzato, in cui le coordinate dei target sono note con estrema precisione (Kraus, 1997).

Per la realizzazione della calibrazione della fotocamera del cellulare si è utilizzato, come test site della procedura, un poligono situato all'esterno del Laboratorio di Geomatica del Politecnico di Torino, nel quale sono presenti una serie di *marker* quadrati di lato 8 cm, del tipo riconoscibile dal laser scanner Faro (Figura 1). Il reticolo è formato da 26 target disposti in modo da coprire le facciate uniformemente.

Questi target sono stati tutti rilevati topograficamente, mediante uno schema ridondante per miglior controllo dei risultati (le coordinate dei target) e una stima affidabile della precisione ottenuti mediante soluzione ai minimi quadrati.



Figura 1. Poligono di calibrazione del DIATI.

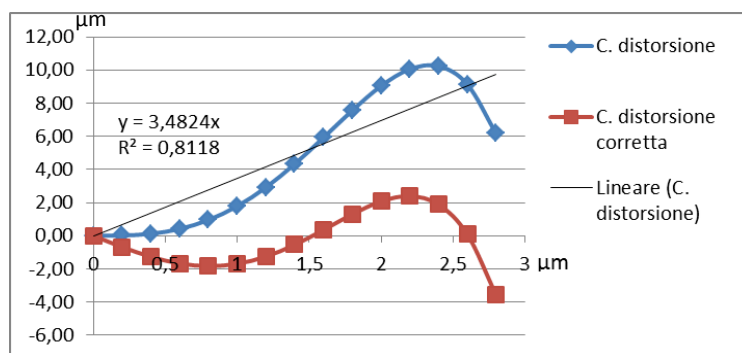
Successivamente sono state eseguite le riprese fotogrammetriche dallo smartphone utilizzato (Samsung Galaxy S Advance), acquisendo, in entrambi i casi, alcune immagini con ampio ricoprimento trasversale (~ 60-80%) acquisite con vari centri di presa e inclinazioni differenziate. Contemporaneamente sono state eseguite anche due scansioni laser scanner, attraverso lo strumento Faro (Cam2 Focus3D), riprendendo il dispositivo nelle due posizioni di acquisizione utilizzate.

Le scansioni sono state colorate, unite e georeferenziate nello stesso sistema di coordinate locale mediante il riconoscimento dei target ottenendo un'unica nuvola di punti 3D.

Per l'autocalibrazione del sistema è stato utilizzato il software LPS di ERDAS.

La Figura 2 mostra la curva di distorsione dell'obiettivo ottenuta (in blu) e i relativi parametri.

Per affinare e ristimare la distanza principale, la curva è stata depurata dell'andamento lineare, assimilabile ad un fattore di scala, ottenendo così una nuova curva di distorsione (in rosso) con valori decisamente più contenuti.



orientamento interno		
c	4,3099	mm
csi0	0,0868	mm
eta0	0,0704	mm
c	4,325	mm

#### Dimens. sensore

2560	pixel
1920	pixel

#### Dimens. pixel

1,75	micron
------	--------

Figura 2. Curva di distorsione della fotocamera del cellulare (in blu), corretta dell'andamento lineare (in rosso).

### Descrizione delle procedure di acquisizione dei dati

Le acquisizioni effettuate hanno riguardato la raccolta di immagini per la costruzione del database, attraverso l'utilizzo del cellulare e di una fotocamera reflex, e il rilievo LIDAR di alcuni ambienti interni della sede Telecom (InLab) al fine di creare un modello 3D di ausilio alle varie fasi di posizionamento (Johnson, Hebert, 1997). Sono state anche acquisite numerose immagini fotografiche correttamente posizionate al fine di costruire il database.

Al fine di individuare la posizione di acquisizione delle immagini dello smartphone, si è costruito ad hoc un sistema composto da un supporto rigido per cellulare montato su una piastra dotata di quattro sfere di colore differente (Figura 3). La posizione relativa delle sfere rispetto al sistema di coordinate immagine della camera digitale dello smartphone è stata determinata nell'ambito della

procedura di calibrazione descritta in precedenza avendo l'accortezza di rilevare la posizione delle 4 sferette per ogni posizione da cui sono state scattate le immagini utilizzate.



Figura 3. Il sistema Butterfly.

In modo analogo, tutto il sistema è stato predisposto su di un cavalletto che consente rotazioni libere in modo tale da permettere di acquisire fotogrammi con assetto angolare molto variabile. Rilevando topograficamente le sfere, contraddistinte da quattro colori diversi, è possibile individuare anche la posizione dello smartphone e il suo assetto angolare.

Il rilievo LiDAR è stato effettuato utilizzando un laser scanner Faro della serie Cam2 Focus 3D che permette l'acquisizione anche di immagini utilizzando una fotocamera interna integrata da utilizzare per la colorazione della nuvola di punti. Sono state eseguite 12 scansioni (segnalate in Figura 4) riguardanti 3 ambienti, utilizzando come impostazioni 1/5 di risoluzione e una velocità di acquisizione di 244000 punti/secondo. Ogni acquisizione impiega circa 3 minuti a scansione e circa 2 minuti per le fotografie.

Per poter montare le scansioni in un unico modello e riportarlo in un sistema di riferimento locale, sono state disposti nelle stanze un totale di 28 *marker* in modo tale da includerne almeno 3 in ogni scansione (anche se nella realtà se ne utilizzano per sicurezza un numero superiore).

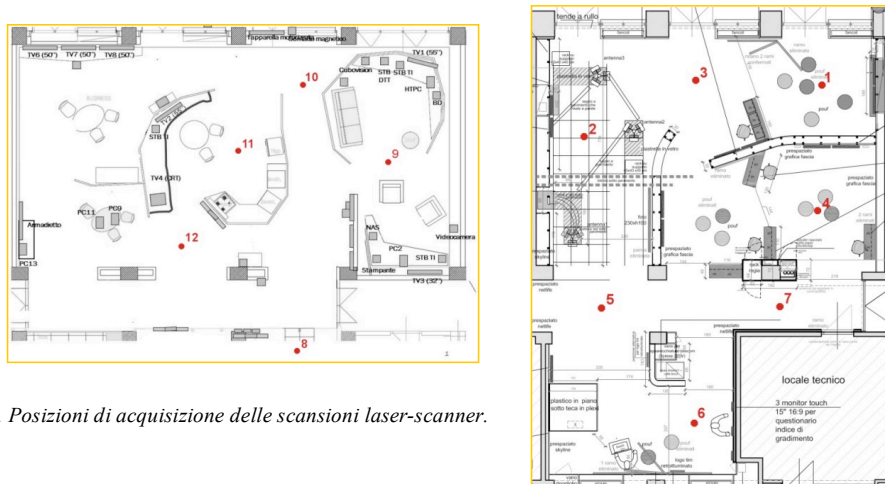


Figura 4. Posizioni di acquisizione delle scansioni laser-scanner.

Le posizioni dei target sono state rilevate topograficamente utilizzando una stazione totale e due prismi per l'impostazione dell'orientamento. In tutto si sono effettuate 4 differenti posizioni di stazionamento dello strumento secondo uno schema poligonale aperto irrigidito mediante il rilevamento di alcuni target da varie stazioni. La stazione totale è stata anche utilizzata per il rilievo delle sfere del sistema farfalla con il quale si sono acquisite 29 immagini da differenti posizioni. Ciò ha permesso successivamente in laboratorio la ricostruzione della posizione di acquisizione dello smartphone nel sistema locale.

In ultimo, sono state acquisite anche delle fotografie utilizzando una fotocamera reflex digitale D800E Nikon che hanno permesso di documentare il rilievo e fornire ulteriori dati per la costruzione del database descrittivo.

### Il trattamento dei dati

I dati relativi alla stazione totale sono stati elaborati utilizzando il software StarNet v.7, di proprietà di MicroSurvey, in un sistema di riferimento locale. Pertanto si è imposta la posizione fittizia di un vertice e un angolo di direzione rispetto ad un altro punto. Successivamente sono state inserite le direzioni azimutali, gli angoli zenitali e le distanze di tutti i punti rilevati dalle quattro posizioni di acquisizione della stazione totale, inclusi i marker e le sfere della farfalla.

In questo modo, impostando un unico foglio di calcolo, è stato possibile ottenere tutte le coordinate e, poiché questo software utilizza il metodo dei minimi quadrati, gli scarti residui, visualizzabili anche graficamente attraverso gli ellissi d'errore (Figura 5) di semiasse massimi pari 5.54 mm per il semiasse maggiore e 2.55 mm per quello minore (al 95%).

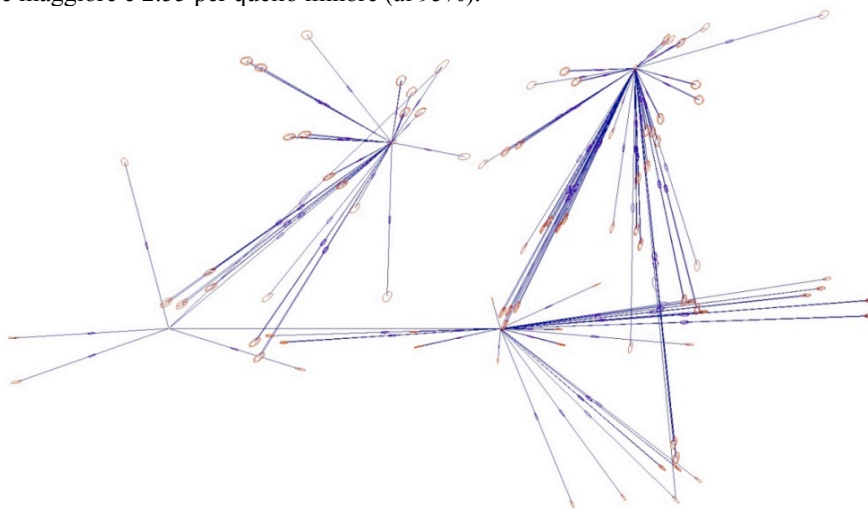


Figura 5. Posizione dei punti rilevati attraverso la stazione totale. In rosso sono evidenziati gli ellissi d'errore ottenuti.

Le scansioni sono state elaborate utilizzando il software Scene di produzione Faro mediante ricerca automatica dei *marker* all'interno delle scansioni, associazione con i target rilevati mediante stazione totale e successiva geoeferenziazione al fine di collocare le scansioni nel sistema di coordinate di rilievo appositamente creato. Sono state quindi svolte le fasi di pulizia dei dati, per eliminare eventuali punti non necessari, colorazione delle scansioni e unione nel modello 3D complessivo in forma di nuvola di punti.

Qui nel seguito vengono riportate due immagini relative all'unione della nuvola di punti (Figura 6). Come verrà spiegato qui nel seguito, questo modello è stato utilizzato per l'estrazione delle immagini che saranno alla base del database (Li, Wang, 2012).



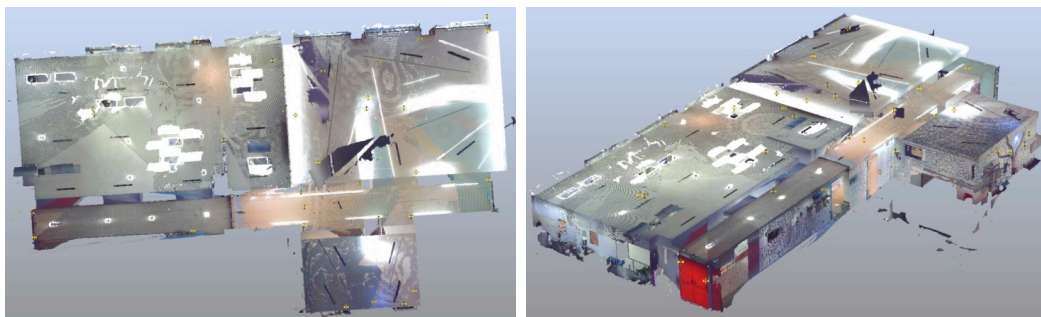


Figura 6. Modello 3D ottenuto dall'elaborazione delle scansioni laser-scanner.

### La costruzione del database 3D

Ottenuto l'intero modello dell'ambiente, ora si vogliono generare delle immagini solide, ovvero immagini a cui ad ogni pixel è associata l'informazione sulla relativa posizione espressa in coordinate tridimensionali in un determinato sistema di riferimento.

Per far ciò da ogni scansione sono state generate delle immagini orientate che rappresentano la base del database. Queste immagini sono poi state trasformate in immagini solide relativamente al sistema di coordinate locali precedentemente impostato.

In Figura 7 vengono riportate, a titolo esemplificativo, alcune immagini utilizzate per il DB.



Figura 7. Immagini generate dal modello 3D realizzato.

Mediamente sono state ricavate 8 immagini per ogni scansione che, come vedremo più approfonditamente nel seguito, sono adatte per ottenere un buon risultato di posizionamento.

Inoltre il database è stato integrato inserendo le immagini della fotocamera reflex Nikon e quelle del cellulare Samsung, opportunamente trattate.

Ovvero, noti i parametri di orientamento interno della fotocamera, tramite autocalibrazione o certificato di calibrazione, possiamo svolgere l'orientamento esterno e quindi compiere una rototraslazione spaziale delle foto acquisite per collocarle nella giusta posizione.

Tutte queste immagini rappresentano la base per il corretto svolgimento della procedura di *Image Based Positioning*.

### La procedura di *Image Based Positioning*

Costruito il database di riferimento, occorre definire la procedura che permette di scattare una foto da cellulare e ricercarne quella che realizza il miglior *matching* all'interno del DB al fine di ottenere il posizionamento (Gupta, 2010). Nella proposta sviluppata si utilizza l'algoritmo SIFT (*Scale-*

*Invariant Feature Transform*) che permette di riconoscere e descrivere punti di interesse di immagini che saranno utilizzati per l'associazione (Li et al., 2011).

La procedura prevista si compone dei seguenti passi:

1. selezione dal DB dell'immagine più prossima all'immagine del cellulare mediante tecnologia sviluppata da Telecom;
2. filtraggio al fine di ottenere un set di *feature* comuni tra le immagini;
3. le *feature* si trasformano in 3D mediante l'immagine solida associata all'immagine del DB derivata dal modello tridimensionale dell'oggetto;
4. si stima la trasformazione DLT associata all'immagine del cellulare in base ai punti d'appoggio ottenuti mediante le *feature* 3D ricavate al punto precedente;
5. si decodificano gli 11 parametri della DLT ottenendo i parametri di orientamento esterno in I approssimazione;
6. si eliminano eventuali *outlier* residui;
7. mediante le equazioni di collinearità si raffinano i parametri di orientamento esterno;
8. si calcolano i residui per giudicare la soluzione (diagnostica della soluzione).

Il procedimento descritto è stato testato su un set di immagini e i risultati evidenziano una precisione nel posizionamento assolutamente accettabile, circa 5 cm, quando si ha a disposizione un buon set di immagini, e qualche decimetro nei casi più complessi.

Infatti, a titolo esemplificativo, in Figura 8 si riporta un esempio di *matching* poco corretto in cui è stata introdotta una persona come elemento disturbante.

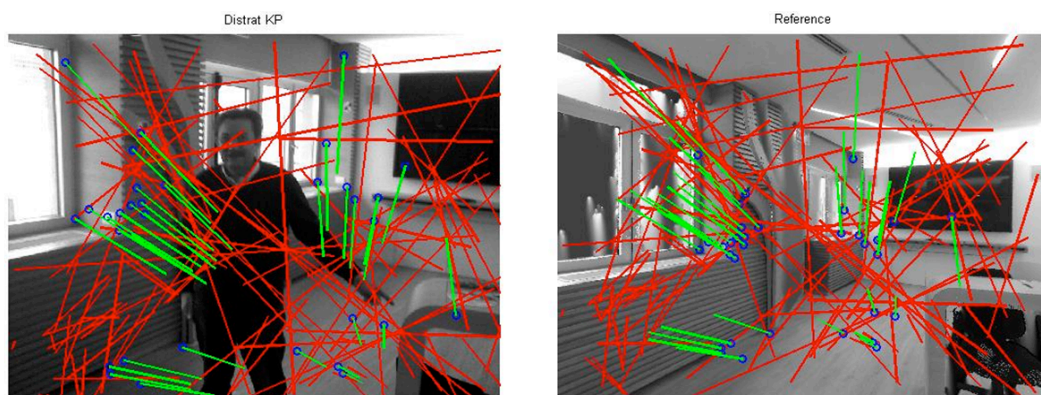


Figura 8. Esempio della procedura di *matching* delle immagini.

Come si può notare, gran parte delle associazioni rilevate con algoritmo SIFT sono incorrette ed evidenziate da una linea rossa, mentre le altre sono rappresentate da un collegamento verde.

Probabilmente questo elemento è stato un fattore che ha aggiunto “rumore” alla procedura di *matching* influenzandola e non permettendo una corretta associazione tra le due immagini.

## Conclusioni

La procedura è in gran parte una composizione ordinata di tecniche e algoritmi già note e sono ampiamente descritti nella letteratura scientifica, in parte anche protette (SIFT) (Boris et al., 2008) (Forstner, Gulch, 1987) (Ackermann, 1984).

L’approccio più innovativo è legato all’utilizzo delle *feature* 3D a cui si può arrivare mediante una opportuna costruzione del database di immagini solide sintetiche derivata dalla costruzione del modello 3D dell’oggetto (anche in forma di nuvole di punti).

Inoltre, la costruzione del database di immagini solide sintetiche è molto flessibile poiché può essere svolta in modo automatico secondo le strategie più opportune: creazione in base a posizioni

predefinite o su grigliato di punti, generazione di immagini sintetiche ad hoc per superare i difetti di posizionamento, aggiornamento nel tempo del DB, ecc.

In ambiente indoor si sono ottenuti ottimi risultati che, si prevede, verranno mantenuti anche durante lo sviluppo della procedura outdoor, da affrontare nel prossimo futuro.

### **Bibliografia**

Ackermann F. (1984) "Digital image correlation: Performance and potential application in photogrammetry". *Photogrammetric record*, 11(64):429-439.

ASPRS (2004) "Manual of photogrammetry". 5<sup>th</sup> edition". ISBN 1-57083-071-1.

Boris R., Effrosyni K., Marcin D. (2008) "Mobile museum guide based on fast SIFT recognition", *6th International Workshop on Adaptive Multimedia Retrieval*, pp. 26-27.

Cho W. (1996) "Relational Matching for automatic orientation". *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 30(3/2), pp. 893-896.

Forstner W., Gulch E. (1987) "A fast operator for detection and precise location of distinct points, corners and circular features". *Proc. Inter. Conference on fast Processing of photogrammetric data*.

Gupta A., Garg R., Kaminsky R. (2010), "An Image-based positioning system".

Johnson A., Hebert M. (1997) "Object recognition by matching oriented points". *In Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Puerto Rico, USA, pp. 684-689.

Li X., Wang J., Li R., Ding W. (2011), "Image-based positioning with the use of geo-referenced SIFT features". *Proceedings of the Incorporating the International Symposium on GPS/GNSS (IGNSS 2011)*, Sydney, Australia.

Li X., Wang J. (2012), "Evaluating photogrammetric approach of image-based positioning ". *XXII ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Melbourne, Australia.

Muthukrishnan K., Lijding M., Havinga P. (2005) "Towards smart surroundings: enabling techniques and technologies for localization". *First International Workshop on Location- and Context-Awareness, LNCS3479*, pp. 350-362.

Kraus K. (1997) "Photogrammetry II, Advanced methods and applications". *Ummeler/ Bonn*, ISBN 3-427-78694-3.