

CORNER DETECTORS A CONFRONTO

Marcello GENCARELLI (*), Giuseppe ARTESE (*)

(*) Università della Calabria, Dipartimento di Pianificazione Territoriale,
Ponte Bucci cubo 45B – 87036 – Rende - e-mail: marcello.gencarelli@unical.it – g.artese@unical.it

Riassunto

Vengono presentati i risultati di uno studio sui *corner detectors*, operatori comunemente impiegati al fine di poter riconoscere un oggetto presente su un fotogramma mediante il rilievo dei punti d'angolo. Il lavoro è finalizzato soprattutto a verificare la sensibilità degli operatori al variare dei principali parametri che li caratterizzano e derivanti dall'espressione matematica degli stessi.

Lo studio dei *corner detectors* è stato effettuato prendendo in esame alcune immagini digitali ed analizzandole.

All'illustrazione analitica degli operatori scelti, seguono i risultati di alcuni test effettuati, che possono essere utilizzati per ottimizzare la scelta dei parametri in funzione delle applicazioni.

Abstract

In the paper are reported the results of a study regarding some corner detectors, operators commonly used in order to recognize an object present on a frame by means of the corner points detection. The work is directed, above all, to verify the sensitivity of the operators in function of the main parameters.

After the analytical illustration of the operators, the results of the test are shown, useful for optimizing the choice of the parameters, depending on the applications.

Operatore di Harris Plessey

La procedura per l'utilizzo dei *corner detectors* è uguale per i diversi operatori, e può essere schematizzata nei seguenti tre passi:

- Si applica l'operatore all'immagine da trattare, ottenendo per ogni pixel un valore detto *cornerness*;
- Si eliminano i *pixel* per i quali la *cornerness* è minore di una soglia prefissata. Questa è l'operazione più delicata, in quanto una soglia troppo bassa rischia di produrre numerosi falsi vertici, mentre una troppo alta elimina alcuni vertici veri; nella gran parte dei casi, soprattutto per immagini affette da rumore, la scelta ottimale della soglia provocherà comunque l'eliminazione di vertici veri e l'individuazione di alcuni falsi *corners*.
- Si applica una *non maximal suppression*, ovvero vengono eliminati i *pixel* la cui *cornerness* non sia un massimo locale; i punti rimanenti sono i *corners* individuati. In questa fase la scelta del raggio dell'intorno da considerare è critica

L'operatore di Harris Plessey è stato sviluppato nel 1988. La *cornerness* è in questo caso una variazione di intensità calcolata in funzione del gradiente

$$V_{u,v}(x, y) = \sum_{\forall i \in (x,y)} \left(u \frac{\partial I_i}{\partial x} + v \frac{\partial I_i}{\partial y} \right)^2 \quad [1]$$

La distanza euclidea dal centro della finestra al punto considerato varia in relazione all'angolo di direzione; l'operatore fornisce così una risposta anisotropa. Scegliendo una finestra circolare, si otterrà così una distanza indipendente dalla direzione assunta. Si adopera allora un filtro gaussiano che, tra l'altro, dà più peso alle variazioni di intensità più vicine al centro della finestra. In questo modo l'espressione [1] diventa:

$$V_{u,v}(x, y) = \sum_{\forall i \in (x,y)} w_i \left(u \frac{\partial I_i}{\partial x} + v \frac{\partial I_i}{\partial y} \right)^2 \quad [2]$$

dove w_i è il peso della finestra di Gauss di centro i

Harris e Plessey hanno poi riscritto l'espressione [2] ottenendola pari a :

$$V_{u,v}(x, y) = Au^2 + 2Cuv + Bv^2 \quad [3]$$

$$V_{u,v}(x, y) = \begin{bmatrix} u & v \end{bmatrix} M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad [4]$$

Dove

$$M = \begin{bmatrix} A & C \\ C & B \end{bmatrix}; \quad A = \left(\frac{\partial I}{\partial x} \right)^2 \Theta_w; \quad B = \left(\frac{\partial I}{\partial y} \right)^2 \Theta_w; \quad C = \left(\frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y} \right)^2 \Theta_w$$

essendo Θ è l'operatore di convoluzione.

Posti ora λ_1, λ_2 gli autovalori di M si avrà:

$$C(x, y) = \det(M) - k(\text{tr}(M))^2$$

con k costante.

Operatore di Moravec

L'operatore di Moravec, sviluppato da Hans P. Moravec nel 1977 risulta essere uno degli operatori maggiormente usati in passato. Il corner detector in esame rileva i vari punti di interesse, utilizzando la funzione variazione di intensità. Moravec ha infatti proposto di misurare la variazione di intensità disponendo di una finestra quadrata (3x3, 5x5, 7x7) centrata nel punto P, per calcolare poi la variazione di intensità V tra la finestra originaria ed una secondaria, ottenuta spostando l'originaria di un pixel nelle otto direzioni possibili (quattro ortogonali, quattro in diagonale). La *cornerness* ottenuta sarà:

$$V = \sum_{i=1}^n (A_i - B_i)^2 \quad [5]$$

Considerando la figura 1, nel caso dell'operatore di Moravec, la variazione di intensità V sarà:

1. in corrispondenza dell'angolo (corner), con un valore piuttosto consistente.
2. nel caso di un bordo (edge) minima lungo la direzione del bordo, massima nella direzione ortogonale.

3. nel caso di un punto interno, ossia né di bordo né di angolo la variazione di intensità è minima ed uguale in ogni direzione.

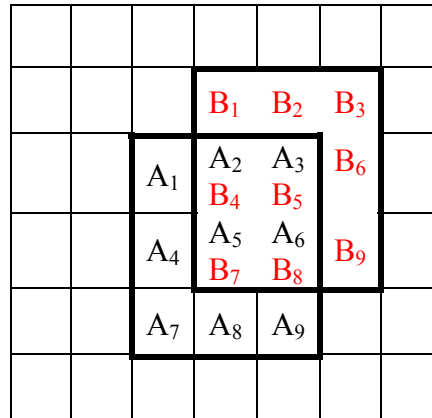


Figura 1. Caso di finestre 3x3

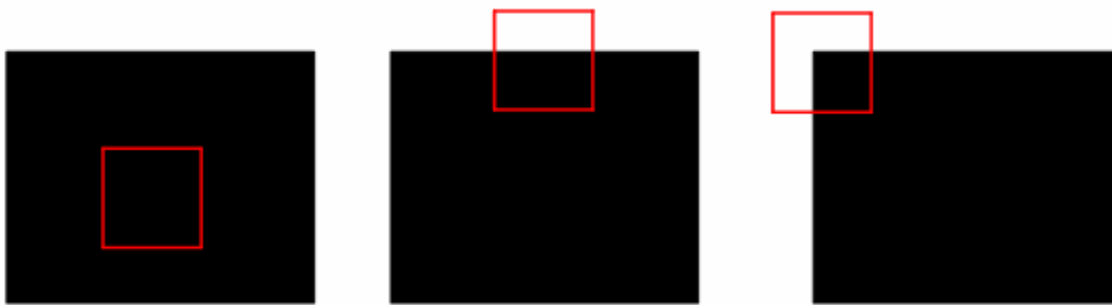


Figura 2. Punto Interno, lungo il bordo e corner

Analisi dei Test effettuati

Test n. 1

E' stata adoperata un'immagine del parcheggio del Dipartimento di Pianificazione Territoriale dell'Università della Calabria, che presenta numerosi vertici facilmente individuabili ed una zona pavimentata con molto rumore.

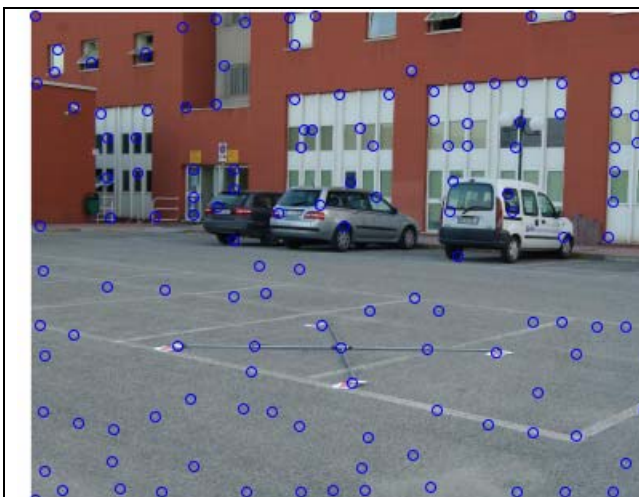


Figura 3. Corners per $\sigma=5$; $K=0.04$; $S=10$; $Nms=10$

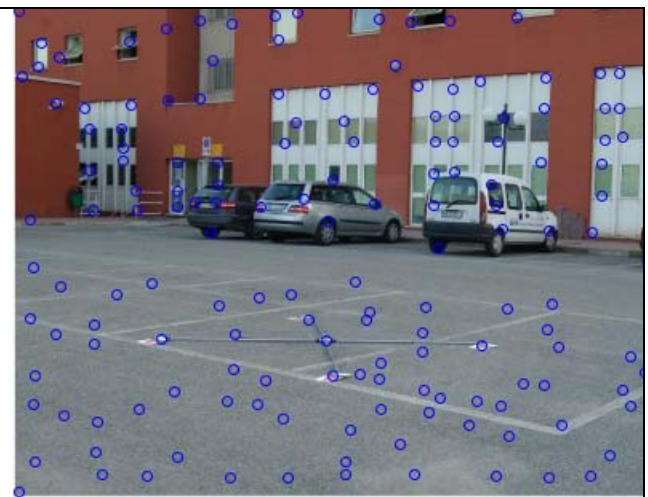


Figura 4. Corners per $\sigma=5$; $K=0.14$; $S=10$; $Nms=10$

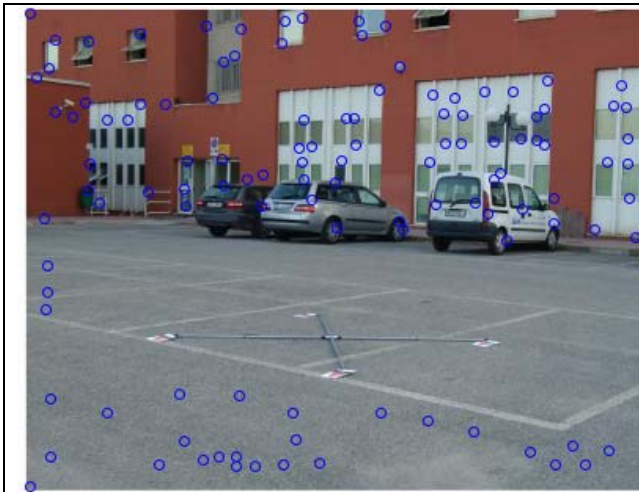


Figura 5. Corners per $\sigma=5$; $K=0.24$; $S=10$; $Nms=10$



Figura 6. Corners per $\sigma=5$; $K>0.24$; $S=10$; $Nms=10$

Come primo test è stato applicato l'operatore di Harris-Plessey, mantenendo inalterati i valori della deviazione standard (σ), della soglia (S), del valore di soppressione non massimo (Nms), e variando il solo valore della costante K .

E' evidente, come per valori di $K=0.04$ e 0.14 l'operatore non offre un buon grado di accuratezza, in quanto tra i vari punti rilevati vi sono molti angoli "falsi". Si tratta quindi di una risposta affetta da rumore. Per $K=0.24$ diminuisce il numero dei punti di interesse rilevati e tra questi vi sono molti punti "falsi". Per $k>0.24$ l'operatore non è in grado di rilevare alcun punto. E' evidente un posizionamento dei *corners* affetto da un notevole offset, con direzioni diverse.

Test n. 2

Sullo stesso fotogramma è stato applicato sempre l'operatore di Harris Plessey, mantenendo ora inalterati i valori della soglia (S), della soppressione non massimo (Nms), della costante K e diminuendo il solo valore della deviazione standard (σ).

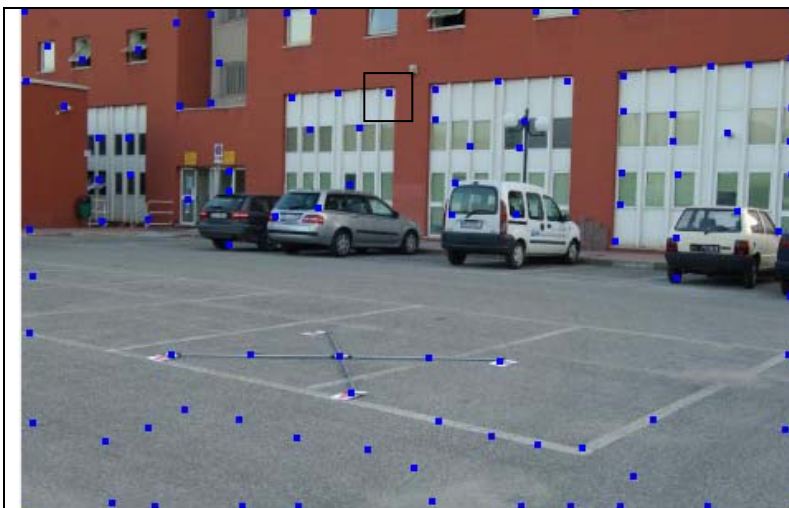


Figura 7. Corners per $\sigma=5$; $K=0.04$; $S=10$; $Nms=10$

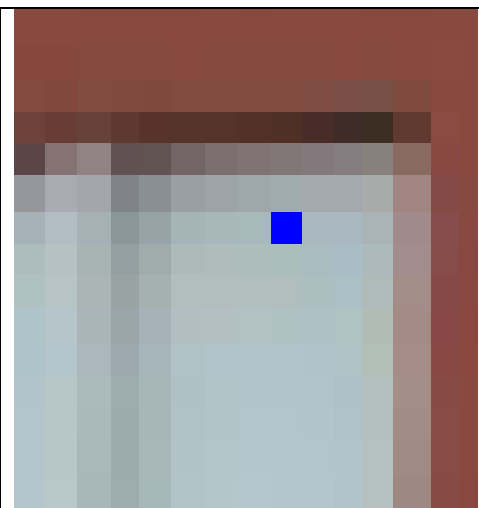


Figura 8. Corner con offset 4 Px, 3 Px

Anche in questo caso emerge come gran parte degli *corner points* individuati presentano un offset di centramento. In particolare, nel caso del punto indicato nel riquadro di figura 7 e riportato in figura 8, si evidenzia un offset pari a 4 pixel lungo la direzione orizzontale e 3 lungo la verticale. Il valore dell'offset si riduce al diminuire di σ , fino a raggiungere un valore minimo che al variare

ulteriore di σ si mantiene comunque costante; il numero di vertici individuato resta all'incirca costante.

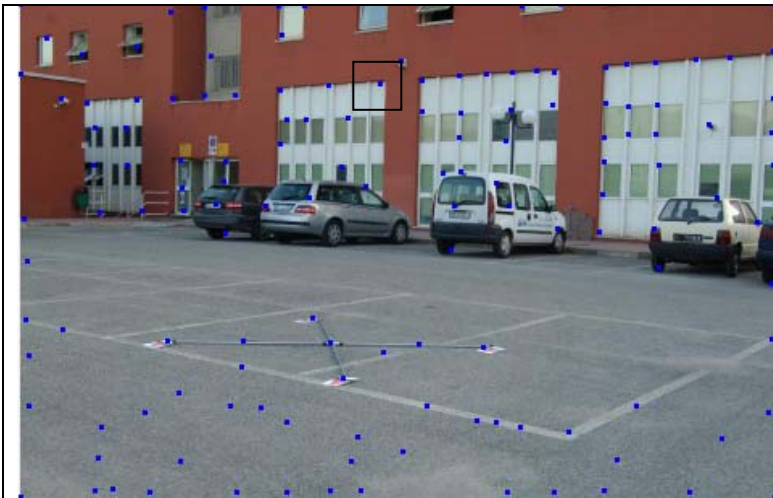


Figura 9. Corners per $\sigma= 3.5$; $K= 0.04$; $S= 10$; $Nms= 10$

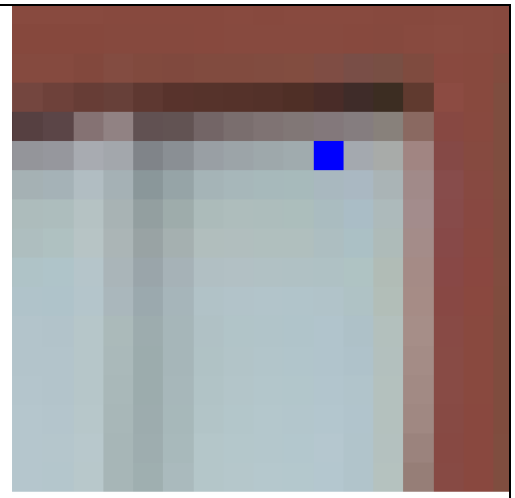


Figura 10. Corner con offset 3 Px, 2 Px

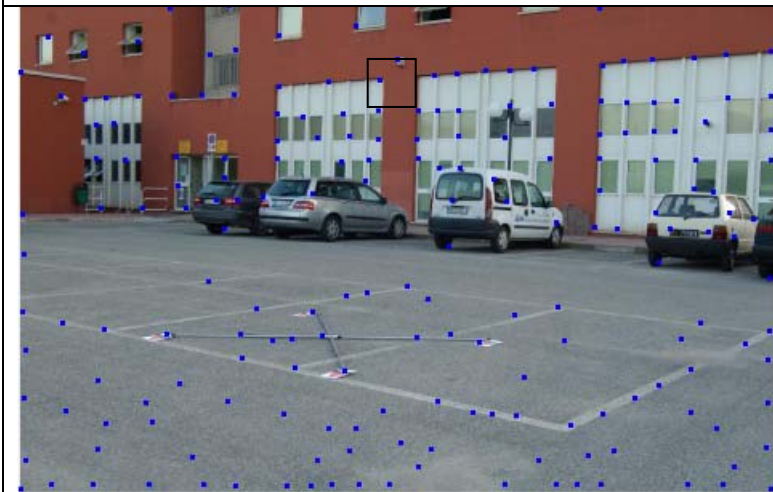


Figura 11. Corners per $\sigma= 2$; $K= 0.04$; $S= 10$; $Nms= 10$

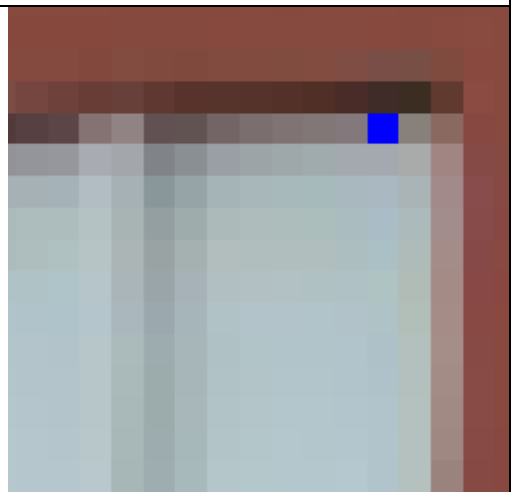


Figura 12. Corner con offset 2 Px, 1 Px



Figura 13. Corners per $\sigma= 5$; $K= 0.04$; $S= 10$; $Nms= 10$

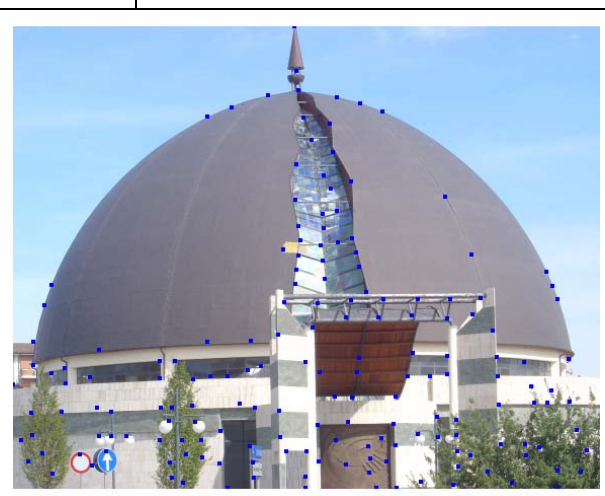


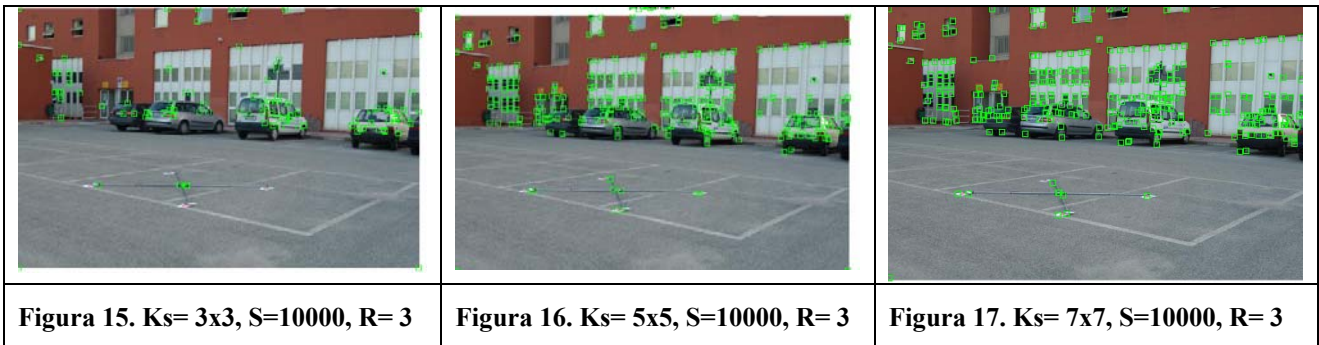
Figura 14. Corners per $\sigma= 2$ $K= 0.04$ $S= 10$ $Nms=10$

L' operatore di Harris Plessey è stato applicato ad un'immagine diversa, con molte linee curve, mantenendo sempre inalterati i valori della soglia (S), della soppressione non massimo (Nms), della

costante K e variando il solo valore della deviazione standard (σ) . In questo caso si osserva come aumenti il numero di vertici individuati al diminuire di σ (Figure 13, 14).

Test n. 4

La prova è stata effettuata sulla prima immagine, applicando l'operatore di Moravec in funzione della dimensione della finestra (Kernel size, K_s), della soglia (S) e del raggio (R) della soppressione non massimo. Si ha un aumento del numero di vertici individuati all'aumentare delle dimensioni della finestra adoperata. L'operatore è molto robusto rispetto ai rumori ed il posizionamento dei vertici è preciso (Figure 15, 16, 17).



Conclusioni

Dai risultati dei *test* emerge chiaramente come le *performances* degli operatori analizzati dipendano da diverse variabili, che non possono essere settate una volta per tutte, ma che vanno scelte in funzione degli obiettivi e dell'immagine, così come gli stessi operatori da adoperare. L'operatore di Harris Plessey, efficace nell'individuazione dei vertici, è poco indicato per la loro esatta localizzazione, mentre quello di Moravec, meno efficace nell'individuazione, è più preciso nel posizionamento e risente meno dei rumori dell'immagine.

Riferimenti bibliografici

Mohanna F., Mokhtarian F., (1995), *Performance Evaluation of Corner Detection Algorithms under Similarità and Affine Transforms*, University of Surrey, Guildorf, GU2 7XH, UK, pp 353-362

Weijer, J.; Gevers, T.; Geusebroek, J.-M., *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, IEEE Transactions, Volume 27, Issue 4, April 2005, pp. 625 - 630

Konstantinos G. Derpanis, *The Harris Corner Detector*, october 27, 2004, Art. pp: 1-2

Harris, C. and Stephens, M. 1988. *A combined corner and edge detector*. In Fourth Alvey Vision Conference, Manchester, UK, pp. 147- 151.

<http://www.cim.mcgill.ca/~dparks/CornerDetector/index.htm>

E. Stylianidis, *A new digital interest point operator for close-range photogrammetry*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV, pp 319-324