

UNIVERSITÀ CA' FOSCARI DI VENEZIA
Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali
Corso di Laurea Specialistica in Informatica

Corso di Sistemi Informativi Multimediali

**θ-STRING: Geometry-Based Representation for
Efficient and Effective Retrieval of Images by
Spatial Similarity**

Studente: Marco Lionello

Anno Accademico 2006-2007

Introduzione

- RSS Retrieval by Spatial Similarity
 - Basato su Relazioni Spaziali
- θ-String
 - Relazioni spaziali
 - Distanza Euclidea
 - SimG per RSS
- SimG
 - Robusto
 - Sottolimmagini
 - TESSA
- Immagine Simbolica
 - Oggetti del dominio (es. Volto)
 - I con n oggetti $\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_{n-1}$.
 - Ordinati lessicograficamente
 - No due istanze dello stesso oggetto
 - No stesso centroide

$$I = ((\theta_j, x_j, y_j), 0 \leq j < n)$$

Rappresentazione $\langle \theta R$ e SIMG (1/3)

- Data un'immagine $I = ((o_j, x_j, y_j), 0 < j < n)$, $\theta_j (0 < j < n)$ (antiorario) è l'angolo della linea che unisce i centroidi di o_j e I . Sia $r_j (0 < j < n)$ la distanza Euclidea fra i centroidi di o_j e I . **La relazione $\langle \theta R$** porta ad un ordinamento degli oggetti di un'immagine basato sui valori di θ_j (nel caso di valori equivalenti, i valori di r_j sono utilizzati x superare l'uguaglianza- l'oggetto col più piccolo valore di r_j procede l'oggetto col più alto valore nell'ordinamento)
- Sia o_0, o_1, \dots, o_{n-1} sia l'ordinamento degli oggetti di un'immagine I indotti da $\langle \theta R$. Di conseguenza la stringa $o_0 o_1 \dots o_{n-1}$ è la **stringa θR** di I ed è denotata da θR_I
 - La notazione $\theta R_I[j]$ si utilizza per fare riferimento ad un oggetto alla posizione j esima della stringa
- **Vicini** sulla destra e sulla sinistra di un oggetto. Data l'immagine I e la sua stringa θR , θR_I . Il vicino sulla sinistra di $o_j \in O_I$, denotato come $o_{j.ln}$ si definisce come:

$$o_{j.ln} = \begin{cases} \theta R_I[j-1] & 0 < j < n-1 \\ \theta R_I[n-1] & j = 0 \end{cases}$$

- Per il suo vicino a destra: $\theta R_I[j+1 \bmod n]$

Rappresentazione $\langle \theta R$ e SIMG(2/3)

- La **distanza** a sinistra di un oggetto , denotata $oj.l_d$, è definita come $oj.l_d = d(oj, oj.l_n)$, dove $oj.l_d = d(oj, oj.l_n)$ denota la distanza euclidea fra l'oggetto oj e $oj.l_n$. Allo stesso modo la distanza a destra.
- L'**incremento** della stringa θR con un'immagine I , denotata $\Theta \mathfrak{R}_I^a$, è la sua stringa $\theta R I$, dove ogni oj di è caratterizzato dalle seguenti informazioni:

$$o_j, o_j.x_j, o_j.y_j, o_j.l_n, o_j.l_d, o_j.r_n, o_j.r_d.$$

- **Stringhe incrementate equivalenti.** Date due stringhe θR incrementate corrispondenti alle immagini I_1 e I_2 : Assunto che I_1 possieda n oggetti e I_2 m oggetti: allora $\Theta \mathfrak{R}_1^a$, $\Theta \mathfrak{R}_2^a$ sono equivalenti se $n=m$ e per $\Theta \mathfrak{R}_1^a [j]$, $0 \leq j < n$, esiste un k , $0 < k < m$, tale che

$$\begin{aligned} \Theta \mathfrak{R}_1^a [j] &= \Theta \mathfrak{R}_2^a [k], \\ \Theta \mathfrak{R}_1^a [j].l_n &= \Theta \mathfrak{R}_2^a [k].l_n, \\ \Theta \mathfrak{R}_1^a [j].l_d &= \Theta \mathfrak{R}_2^a [k].l_d, \\ \Theta \mathfrak{R}_1^a [j].r_n &= \Theta \mathfrak{R}_2^a [k].r_n, \\ \Theta \mathfrak{R}_1^a [j].r_d &= \Theta \mathfrak{R}_2^a [k].r_d. \end{aligned}$$

Rappresentazione $\langle \theta R$ e SIMG(3/3)

- Date due stringhe θR di eguale lunghezza: $\theta \mathcal{R}_1 = o_0 o_1 \dots o_{k-1} o_k o_{k+1} \dots o_{n-1}$; e $\theta \mathcal{R}_2 = o_k o_{k+1} \dots o_{n-1} o_0 o_1 \dots o_{k-1}$, $2 \leq k < n$. $\theta \mathcal{R}_2$ può essere pensata come generata da un movimento ciclico verso sinistra di $\theta \mathcal{R}_1$ di k volte. Le stringhe prodotte dai movimenti ciclici verso sinistra o destra di una stringa θR sono definite come sue **varianti cicliche**.
- **Immagini spazialmente identiche**: se le stringhe θR incrementate sono stringhe θR incrementate equivalenti

Algoritmo SimG

- Formalmente $SIM_G : I_q \times I_d \rightarrow [0, 1]$
- In grado di individuare le varianti ma non solo



L' algoritmo

Algorithm SIM_G ($I_q = ((o_i, x_i, y_i), 0 \leq i < u), I_d = ((o_j, x_j, y_j), 0 \leq j < v)$)

```
1   $I'_q \leftarrow ((o_i, x_i, y_i) \mid o_i \in O_{I_q} \cap O_{I_d}, x_i = I_q.o_i.x, y_i = I_q.o_i.y)$ 
2   $I'_d \leftarrow ((o_j, x_j, y_j) \mid o_j \in O_{I_q} \cap O_{I_d}, x_j = I_d.o_j.x, y_j = I_d.o_j.y)$ 
3   $n \leftarrow |O_{I'_q}| = |O_{I'_d}|$ 
4   $m \leftarrow |O_{I_q}|$ 
5   $\Theta\mathfrak{R}_q^a \leftarrow \text{make\_}\Theta\mathfrak{R}\text{-string}(I'_q)$ 
6   $\Theta\mathfrak{R}_d^a \leftarrow \text{make\_}\Theta\mathfrak{R}\text{-string}(I'_d)$ 
7   $sim \leftarrow 0$ 
8  for  $i \leftarrow 0$  to  $n - 1$  do
9      find  $k$  such that  $\Theta\mathfrak{R}_q^a[i] = \Theta\mathfrak{R}_d^a[k]$ 
10      $sim \leftarrow sim + \text{ObjectFactor}$ 
11     if  $\Theta\mathfrak{R}_q^a[i].ln = \Theta\mathfrak{R}_d^a[k].ln$  do
12          $sim \leftarrow sim + \text{SpatialFactor}$ 
13          $sim \leftarrow sim + \text{ScaleFactor}(e^{-|\Theta\mathfrak{R}_q^a[i].ld - \Theta\mathfrak{R}_d^a[k].ld|})$ 
14         endif
15         if  $\Theta\mathfrak{R}_q^a[i].rn = \Theta\mathfrak{R}_d^a[k].rn$  do
16              $sim \leftarrow sim + \text{SpatialFactor}$ 
17              $sim \leftarrow sim + \text{ScaleFactor}(e^{-|\Theta\mathfrak{R}_q^a[i].rd - \Theta\mathfrak{R}_d^a[k].rd|})$ 
18         endif
19     endif
20 endfor
21  $sim \leftarrow sim/m$ 
22 return  $sim$ 
end  $SIM_G$ 
```

$$|\Theta\mathfrak{R}_q^a[i].ld - \Theta\mathfrak{R}_d^a[k].ld|$$

L' algoritmo: Complessità

Algorithm $SIM_G (I_q = ((o_i, x_i, y_i), 0 \leq i < u), I_d = ((o_j, x_j, y_j), 0 \leq j < v))$

1 $I'_q \leftarrow ((o_i, x_i, y_i) \mid o_i \in O_{I_q} \cap O_{I_d}, x_i = I_q.o_i.x, y_i = I_q.o_i.y)$

2 $I'_d \leftarrow ((o_j, x_j, y_j) \mid o_j \in O_{I_q} \cap O_{I_d}, x_j = I_d.o_j.x, y_j = I_d.o_j.y)$

3 $n \leftarrow |O_{I'_q}| = |O_{I'_d}|$

4 $m \leftarrow |O_{I_q}|$

5 $\Theta\mathcal{R}_q^a \leftarrow \text{make_}\Theta\mathcal{R}\text{-string}(I'_q)$

6 $\Theta\mathcal{R}_d^a \leftarrow \text{make_}\Theta\mathcal{R}\text{-string}(I'_d)$

7 $sim \leftarrow 0$

8 **for** $i \leftarrow 0$ **to** $n - 1$ **do**

9 **find** k **such that** $\Theta\mathcal{R}_q^a[i] = \Theta\mathcal{R}_d^a[k]$

10 $sim \leftarrow sim + \text{ObjectFactor}$

11 **if** $\Theta\mathcal{R}_q^a[i].ln = \Theta\mathcal{R}_d^a[k].ln$ **do**

12 $sim \leftarrow sim + \text{SpatialFactor}$

13 $sim \leftarrow sim + \text{ScaleFactor}(e^{-|\Theta\mathcal{R}_q^a[i].ld - \Theta\mathcal{R}_d^a[k].ld|})$

endif

14 **if** $\Theta\mathcal{R}_q^a[i].rn = \Theta\mathcal{R}_d^a[k].rn$ **do**

15 $sim \leftarrow sim + \text{SpatialFactor}$

16 $sim \leftarrow sim + \text{ScaleFactor}(e^{-|\Theta\mathcal{R}_q^a[i].rd - \Theta\mathcal{R}_d^a[k].rd|})$

endif

endfor

17 $sim \leftarrow sim/m$

return sim

end SIM_G

$\Theta(n)$

$\Theta(n \log n)$

$\Theta(n)$

$\Theta(n \log n)$

TESSA & Operatori

- 10 immagini originali
 - 15 varianti
 - Totale di 160 immagini
 - (1,17,33,49,65,81,97,113,129,145)

Variant Number	Transformation	Variant Number	Transformation
1	s_0	2	s_0
3	t_x	4	$t_x t_y$
5	r_0	6	r_0
7	$s_0 t_x t_y$	8	$t_x t_y r_0$
9	$r_0 t_x t_y s_0$	10	$t_x t_y r_0 s_0$
11	r_0	12	$t_x t_y$
13	s_0	14	$t_x t_y s_0$
15	$s_0 t_x t_y$		

Valutazione di SIMG

- Valutazione tra SimG e il risultato atteso
- Valutazione con TESSA Image Collections
 - Valutazione su gruppi test eseguito su tutte le immagini
 - SimG ritorna sempre 1
- Ruolo di Spatial, Scale, Object Factor
- Quantificazione Rispetto a Rnorm
 - Valuta oggettivamente l'efficacia dell'algorithmo di similiarità spaziale nel retrieval
 - Costruzione
 - SimG
 - Studente Universitario (expert)
- Comportamento con dati erronei

Valutazione tra SimG e risultato atteso



Image 1



Image 2



Image 3



Image 4



Image 5

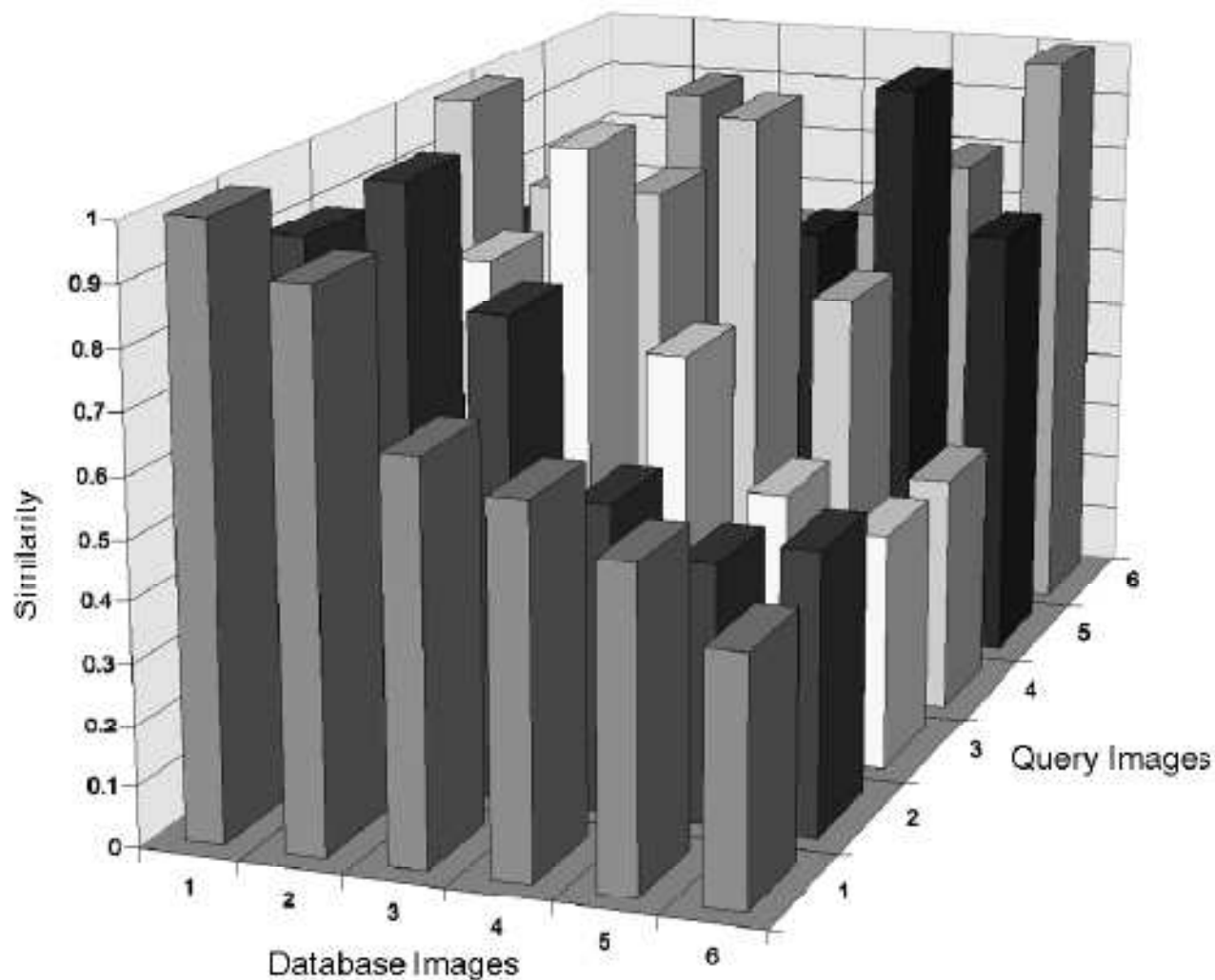


Image 6

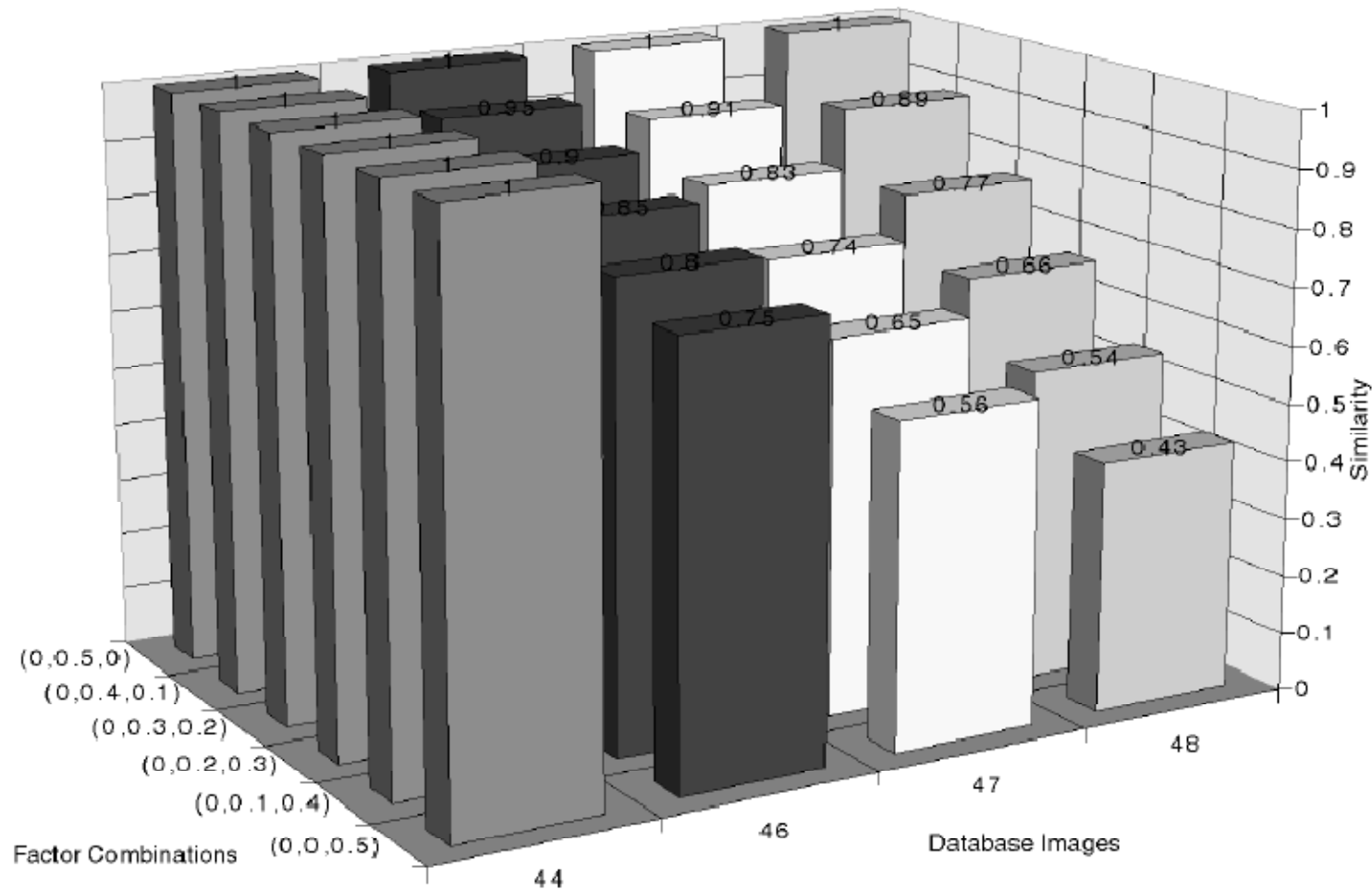
Valutazione tra SimG e risultato atteso

Query image number	Database image number	Number of identical objects	Number of displaced objects	Number of missing objects	Number of extraneous objects
1	1	9	0	0	0
	2	8	0	1	1
	3	6	0	3	2
	4	6	0	3	0
	5	4	2	3	0
	6	3	1	5	1
2	1	8	0	1	1
	2	9	0	0	0
	3	6	1	2	1
	4	5	0	4	1
	5	3	2	4	1
	6	4	1	4	0
3	1	6	0	2	3
	2	6	1	1	2
	3	8	0	0	0
	4	5	0	3	1
	5	3	2	3	1
	6	3	2	3	0
4	1	6	0	0	3
	2	5	0	1	4
	3	5	0	1	3
	4	6	0	0	0
	5	4	2	0	0
	6	3	1	2	1
5	1	4	2	0	3
	2	3	2	1	4
	3	3	2	1	3
	4	4	2	0	0
	5	6	0	0	0
	6	4	0	2	1
6	1	3	1	1	5
	2	4	1	0	4
	3	3	2	0	3
	4	3	1	1	2
	5	4	0	1	2
	6	5	0	0	0

Valutazione tra SimG e risultato atteso



Iterazione del fattore spaziale e del fattore scala nell'algoritmo SIM_G



Conclusioni

- Comportamento con dati erronei
- θ R-String e SimG
 - θ R-String rappresentazione logica buona
 - SimG efficiente e usabile con grandi basi di dati
- Possibile modificare le relazioni
- Indici a liste invertite

Bibliografia

- [1] T. Arndt and S.-K. Chang, "Image Sequence Compression by Iconic Indexing," *Proc. IEEE Workshop on Visual Languages*, Rome, 1989.
- [2] D.H. Ballard and C.M. Brown, *Computer Vision*, Prentice Hall, 1982.
- [3] C. Chang and S. Lee, "Retrieval of Similar Pictures on Pictorial Databases," *Pattern Recognition*, vol. 24, no. 7, pp. 675-680, 1991.
- [4] S.K. Chang, E. Jungert, and Y. Li, "The Design of Pictorial Database Based Upon the Theory of Symbolic Projections," *Proc. Conf. Very Large Spatial Databases*, Springer-Verlag, 1989.
- [5] S.K. Chang, C. Lee, and C. Dow, "A 2D String Matching Algorithm for Conceptual Pictorial Queries," *Image Storage and Retrieval Systems*, pp. 47-58, SPIE, vol. 1,662, 1992.
- [6] S.K. Chang, Q.Y. Shi, and C.W. Yan "Iconic Indexing by 2D Strings," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 9, no. 3, pp. 413-428, 1987.
- [7] G. Costagliola, G. Tortora, and R. Arndt, "A Unifying Approach to Iconic Indexing for 2D and 3D Scenes," *IEEE Trans. Knowledge and Data Eng.*, vol. 4, no. 3, pp. 205-222, 1992.
- [8] D. Daneels et al., "Interactive Outlining: An Improved Approach Using Active Contours," *Storage and Retrieval for Image and Video Databases*, pp. 226-233, SPIE, vol. 1,908, 1993.
- [9] M. Flickner et al., "Query by Image and Video Content: The QBIC System," *Computer*, vol. 28, no. 9, pp. 23-32, 1995.
- [10] W. Frakes and R. Baeza-Yates, *Information Retrieval: Data Structures and Algorithms*, Prentice Hall, 1992.
- [11] V. Gudivada, "TESSA—An Image Testbed for Evaluating 2D Spatial Similarity Algorithms," *ACM SIGIR Forum*, vol. 28, no. 2, pp. 17-36, 1994.
- [12] *Computer*, special issue on content-based image retrieval systems, V. Gudivada and V. Raghavan, guest eds., vol. 28, no. 9, 1995.
- [13] V. Gudivada and G. Jung, "Spatial Knowledge Representation and Retrieval in 3D Image Databases," *Proc. IEEE Int'l Conf. Multimedia Computing and Systems*, pp. 90-97, IEEE CS Press, 1995.
- [14] V. Gudivada and V. Raghavan, "Design and Evaluation of Algorithms for Image Retrieval by Spatial Similarity," *ACM Trans. Information Systems*, vol. 13, no. 1, pp. 115-144, Apr. 1995.
- [15] V.N. Gudivada and V.V. Raghavan, "Modeling and Retrieving Images by Content," *Information Processing and Management*, vol. 33, no. 4, pp. 427-452, 1997.
- [16] V. Gudivada, R. Sonak, W. Grosky, and K. Lentz, "Indexing for Efficient Spatial Similarity-Retrieval in Multimedia Databases," B. Furht, ed., *Handbook of Multimedia Systems*, CRC Press 1998.
- [17] T.-Y. Hou et al., "A Content-Based Indexing Technique Using Relative Geometry Features," *Storage and Retrieval for Image and Video Databases*, pp. 59-68, SPIE, vol. 1,662, 1992.
- [18] Y. Lamdan and H. Wolfson, "Geometric Hashing: A General and Efficient Model Based Recognition Scheme," *Proc. Int'l Conf. Computer Vision*, pp. 218-249, 1988.
- [19] S.-Y. Lee and F.-J. Hsu, "2D C-String: A New Spatial Knowledge Representation for Image Database Systems," *Pattern Recognition*, vol. 23, no. 10, pp. 1,077-1,087, 1990.
- [20] S.-Y. Lee and F.-J. Hsu, "Spatial Reasoning and Similarity Retrieval of Images Using 2D C-String Knowledge Representation," *Pattern Recognition*, vol. 25, no. 3, pp. 305-318, 1992.
- [21] S.Y. Lee, M.K. Shan, and W.P. Yang, "Similarity Retrieval of ICONIC Image Database," *Pattern Recognition*, vol. 22, no. 6, pp. 675-682, 1989.
- [22] A. Pentland, R. Picard, and S. Sclaroff, "Photobook: Tools for Content-Based Manipulation of Image Databases," *Storage and Retrieval for Image and Video Databases II*, SPIE, vol. 2,185, 1994.
- [23] P. Sistla, C. Yu, and R. Haddad, "Reasoning About Spatial Relationships in Picture Retrieval Systems," *Proc. VLDB*, pp. 570-581, Santiago, Chile, 1994.
- [24] H. Wolfson, "Model Based Object Recognition by Geometric Hashing," *Proc. First Europe Conf. Computer Vision*, pp. 526-536, 1990.