

² † ~·°" r o „ 1 / Œ¥ Õ Ø s Ë Z E

陈 洋/王润生

fi S J S Ð / Œv Ð È 0 S Ð Ð ý ñ Ð ý i fl L S E x Ä L i / µ 2 É i i žžž! "#

摘 要\$ 4 | µ r ¥ + ~ " ¿ Õ Ø í • „ s Ë B ° ^ Õ Ø s ¥ 4 Ä % ' Ó 4 B Õ ² † ~·°" r o „ 1 / Œ¥ Õ Ø + ~ 4 | Z E / ' Õ Ø m ^ n 5 Ü V ~·°" r o F r o / - ^ @ r o m ^ ° ¢ y Ú » + ~ O & | f t Ú » + ~ O Y V ö î s s ' 1 É › † » / K ^ • " 1 / Œ s „ 4 | † » ^ ¥ + ~ O Ĩ ¥ ý ë î s " ¿ Õ Ø s Ë % Y V Ð Ü Ä ~·°" r o „ 1 Z E ¥ 1 L / £ „ ß N ' Ó Z E ¥ Ý ? %

关键词\$ µ S ü Õ Ø s Ë & ~·°" r o & ö î s s & ý ë î s s

中图分类号\$ fl " (Ž 文献标识码\$ 1 文章编号\$ ž"! ) žžž fl žžž! # ž) ž) (ž ž\*

## A Method for Texture Classification by Integrating Gabor Filters and ICA

~+, - . ~/0/ 11 - 12/-345/0

(ATR National Lab, School of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 1žžž!, China)

Abstract: , 67~879/0 5:5879 5:5~72~53:~ 75672~5 <538~9~79 / ~ / < 8~33998~79 / 9 ~?~@3 ~<9:982~7=°°~5A 9/ 75672~5 ~ / ~@ 393%fl493 =°5° =°°°353 ~ A574°< :°° 75672~5 :5~72~5 567~879 / ' @ 9/750~79/0 ~·°" :9~5~3 ~ / < 9/ <5=5/ <5/7 8°A=° /5/7 ~ / ~@393 fl 1 # %fl4~793/745 75672~5 9A~05 93:937@ :9~5~5< ' @ ~ 09;5/ ~ / B °: ~·°" :9~5~3 ~ / < 745/ 49045~ <9A5/39 /> :5~72~5 ;587~3 ~ 5 8°/3~285< :°°A 745 :9~5~5< 9A~053% 567/745 <9A5/39 / ~@ °: 74535 ;587~3 9 ~5<285< ' @ A5~3 °: =°989~>8°A=° /5/7 ~ / ~@393 fl ~ 1 # %C9 ~@/745 9/ <5=5/ <5/7 8°A=° /5/73 9/ 745 ~532~79/0 ;587~3 ? 94 <9A5/39 / ~@ ~5<285< ~5 ~ / ~@D5< ~ / < 567~875< ' @ 23 9/0 1 : °° 75672~5 8>33998~79 / °° A=° ~ 79 5 56=°9A5/73 A°/0 748 ~°°°84/745 8>338 ~·°" :9~5~3 ~ / < 1 / ~ 5 =5°: °°A5<% fl45 ~532~73 <5A°/37~75 ~ / < 5; ~2~75 93 =5°: °°A~85%

Key words: 32=5~; 95< 75672~5 8>33998~79 / & ~·°" :9~5~3&=°989~>8°A=° /5/7 ~ / ~@393&9/ <5=5/ <5/7 8°A=° /5/7 ~ / ~@393

### 1 引言

Õ Ø s Ë ^ B ñ µ G ^ Ÿ ¥ ý T / 7 Ĩ ¥ ' 4 ö 1 " Ĩ + ~ 4 | Z ë % 8 4 | V ñ Ĩ / ! ì 9 ^ 5 Ü s ÷ ¥ ? Q ~ Õ Ø + Ÿ ¥ © / - ^ Y V ò Õ M Ð s V Ĩ 4 | µ r ¥ + ~ " ¿ Õ Ø V • „ s Ë % " - Û s f t © ¥ Z E ' V [ s 1 1 Ë Ežž) F \$ d 9 Z E æ Z E a ~ Z E „ • | ) Ø Z E % Ĩ / • | ) Ø Z E 1 s ž 1 ý / L É ^ • " r o F ¥ Z E % Û r o Ĩ / ~·°" r o @ ¿ µ ^ ¥ r o Ÿ ? „ Ð Ĩ Ë ) j \$ V ñ M » ¥ + Ä 7 ÷ ^ a ] / Í M Ÿ X ¢ ž < W ¥ ù î i | ¢ B ç ¥ î T % + Ä ^ \$ ~·°" f " • B V [ r ž H Ó © , 1 " ¥ / , / ? ] H Y \$ b W x „ Ó x Ĩ • | s ¥ s O q 1 p / ó • | + Ÿ ñ x Ĩ ¥ K D © & ÷ x 1 ¥ ^ / P " ~·°" r o F / á Ĩ V [ ¢ B F ? S ¥ µ 1 Õ Ø m ^ , ] „ Z \_ / ¥ © % ñ ö 1 " ñ V ñ & É 4 † a ¥ r o „ + ~ 9 Ø % É 4 r o Z ë /

µ S ü Z E ' Y 5 Y V s Õ Ø " ' ¥ ° Ú = ö Ÿ ' ç r o • " ¥ E ° G IF & í S ü Z E 5 n 5 ô B t 3 Ø Ð L ! ' ç B v F r o / - ^ Y V s r o ^ ¥ m ^ / ñ Ê † a ¥ r o E ° G F % + ~ 9 Ø Z ë / Y V r o ^ ¥ m ^ É › d L Ÿ T „ ? 9 Ø ¢ ž + ~ m ^ Ežž/žž / i ~ y ë ¥ + ~ O S s Ë % Œ f Õ Ü Ä ¥ ~·°" r o Z E 1 p € s ¥ Õ Ø 1 N { • | / - 7 L = Ĩ B † s Õ Ø Ó x i , V C 1 B Õ " z ¥ N { TMT / Ä @ ¿ 1 & ¥ T M Ÿ s ž ñ Ä ¥ B t 1 - Õ Ø C ' % ¿ f t Õ Ø / µ S ü Z E G L ° Ú = ö s " 4 ' ç † a ¥ r o • " & 7 í S ü S ü Z E @ ¿ Œ 5 • 9 P ¢ r o ñ Ê 1 - Ežž) F % 4 | µ r ¥ + ~ Z ë / " - Z E ' ^ • " ö î s s fl ' 9/89~>°A=°/5/7 1 / ~@393' 1 # / Œ 1 " © W ¥ ° Ä • / † @ » " / ¢ ° , M 1 ¥ + ~ % Œ ' 1 ° ? " ¿ € " + ~ W ¥ M 1 Ÿ / , ? | + ~ ¥ ý ë î s & 7 O Ç Ç æ " • | ¥ = " d 9 + Ÿ % Í + M Ÿ ? Z Ÿ ¥ ý ë î s s fl / <5=5/ <5/7 ~°A=°/5/7 1 / ~@393/ 1 # ^ B Õ • ¥ ¿ Ü

" d 9 ¥ " s Z E / ñ ? V B F \$ 4 © ¥ " İ  
9 . ¥ Ũ O / 7 O O İ Ä ñ s ^ M ° y ë ¥ % X  
μ Ö D Z F | " İ Ö Ø V • „ s È % f t Z E ' ^  
% ç 3 g / ° □ | = » m ^ " Y V t , İ İ □ ž Ũ  
» O É ) y ë i s s Y 4 | + ~ ¥ %

œ ^ / Â T ? „ 1 - - 5 | Ö Ø m ^ ñ  
Z \_ É ) s 3 / - a İ f t s 3 a ¥ m ^ y ë Ũ » O  
5 V ? ÷ 1 † a % y N / œ Ũ s © „ 4 | + ~ f  
ñ Z ë i ¥ Ũ 5 / ' Ó 4 B Ö 2 † ~ ~ r o „ 1  
¥ μ S ũ Ö Ø s È Z E f i n m ž # / ' " ' P " / n 5 '  
ç B v F r o " ' m ^ É ) r o / ' Ä ñ " ' m ^ ö  
□ ž B F r o m ^ & # / Y / i , ^ s f t r o m ^ Y ñ È  
r o / 7 ^ @ r o m ^ ° □ T M İ Ũ » + ~ O & - a / f  
t Ũ » + ~ O 5 Y V ' 1 † » / • „ 1 s O İ ¥  
y ë i s & K ^ / ö □ ž ¥ + ~ O f i O İ ¥ i í M ° y  
ë # P " K # í s È É ) Ö Ø s È % f Ö Z E μ Ø ñ + Ä \$  
ñ ž # æ ~ ~ ~ r o F □ ~ ¶ a ? S ¥ Ö Ø © & # E  
ç s Ä Ö Ö Ø ¥ ° Ũ = ö / | r o ¥ ñ È Ũ 5 Ð î +  
~ ñ È Ũ 5 & # F † ' 1 „ 1 / œ L C Ũ » O ¥ † » /  
€ " r o m ^ W ¥ ° Å . / □ Ö Ø ¥ Ũ " d 9 + Y V 7  
÷ z 1 " İ Ö Ø s È %

' Ó » = † s í • ~ ~ ~ r o T „ „ İ ' 1 „  
1 s ¥ ~ ~ + ~ & » Ø † s n 5 e † ° „ 1 ¥ '   
ö Ø - a W % Å • 4 | y ë ¥ ~ ~ Ö Ø + ~ ¥ Z E / K  
a P " K # í s È É ) s È & » 1 † s | ' Ó Z E ] . d  
¥ ~ ~ ~ r o Z E „ 1 Z E É ) 1 L / i ç ß  
N ' Ó Z E ¥ s È Y ? & » ö † s 1 ' Ó ¥ 2 , %



图1 用于纹理分类的Gabor特征ICA分析方法的流程

## 2 Gabor 特征分析

= » ~ ~ f " ^ Ũ Ũ @ f " Ø Ä ¥ ž ? E i / Ö x  
V C 1 B Ö { Y r o / O ö Ö „ Z \_ V Ø % M ~ 85 N © Z H F  
n 5 P " ~ ~ ~ r o Y E j \$ % ¥ □ | Æ .  
• | b W Ö q ¥ † s ? İ % Ö 20 A ~ / E Z 1 F 5 É B „ s  
• | b W a b W Ö q „ Z \_ ¥ , ' ç ó " / □ ~ ~ ~  
r o ^ . B r ž H Ö © , 1 " / , ¥ f " %

### 2.1 Gabor 滤波器公式

= » ~ ~ f " ¥ B İ T M T 1 ( j P √ Q Ž ) ^ ( ) :  
h(x, y) P g(x', y') • 56 = f) T y ( U k R V y ) ] ( Ž )  
İ (x', y') P ( x 8 3 φ R y 39 φ , Q x 39 φ R y 8 3 φ ) 1 ¶ İ ö Ä  
I H œ È φ ¥ U S ( M x à ) , i O  
g(x, y) P \left( \frac{\tilde{Z}}{\pi \lambda \sigma^2} \right) \cdot 56 = \left[ Q \frac{(x/\lambda) R y^2}{\sigma^2} \right] ( )  
İ ~ 2339 / f " • " : : ~ 1 λ „ • " σ „ É à Z \_ φ  
( M İ x à ) . Â T λ P ž 5 Ä μ A 1 ó • " φ , y 1 f H  
¥ Ũ @ f " 1 ö Ũ ë ¥ / ë ^ Ö x V U :

H( U, V) P 56 \left\{ Q \right\} \pi^2 \sigma^2 L ( u' Q U' ) ^1 \lambda' R ( v' Q V' ) ^1 \} ( " )  
İ ( u' , v' ) P ( u 8 3 φ R v 39 φ , Q u 39 φ R v 8 3 φ ) , ( U' , V' ) È  
» , ¶ İ İ • Ö q ( U, V) T ö Ä I H œ È . f " , H( U, V)  
^ B ñ { Y ~ 2339 / f " , • " : : ~ 1 ž / λ „ à Z \_ φ ( M  
İ u à ) , à \_ Ö q F P √ U R V ) ( † È ^ Ũ Ũ " / m ^ z  
) , Z \_ Ø P T / - ž ( V / U ) ( † È ^ ~ ¶ , M İ u à ) .  
' Ö P " / ë B F ~ ~ ~ r o :

( Ž ) 1 Z L n , á İ P □ ~ ~ ~ r o ¥ Ø Ä Ũ @ f "  
] - ž ? E i f " μ M ] ¥ Z \_ , ' φ P Ø . y N ( Ž ) , ( " ) V  
e Ä 1 : h(x, y) P g(x', y') • 56 = ( π j F x' ) ( İ )  
" H( U, V) P 56 \left\{ Q \right\} \pi^2 \sigma^2 L ( u' Q F ) ^1 \lambda' R ( v' ) ^1 \} ( \* )

( ) á \_ Ö q s Y | : √ , ) √ , 1 √ , ... , ( N / 1 ) √ 8 @ 8 53 S 9 A -  
05 ? 9 4 , İ N 1 m ^ j , f " V [ £ r o F İ μ  
K Ũ Ö q ¥ r o ¥ Y Ö { 3 g İ , 7 O { z 1 ž ñ  
Ö ñ , ' > 0 ( f i / f l ) P ž T , ž . Z \_ G m ^ j s Y | n P İ ,  
H T ñ Z \_ . y N r o F İ 9 ¥ r o " " 1 n > 0 ( N / ) .  
m ) 1 ' Ö İ P " ¥ ~ ~ ~ r o F , j 1 ) ( × ) ( ^ Í , á  
\_ Ö q s Y 1 √ , ) √ , 1 √ , T √ , Z \_ | ž " ž , H ž , ( ž ž ) ž  
ž \* ž © H ñ Z \_ , λ P ž

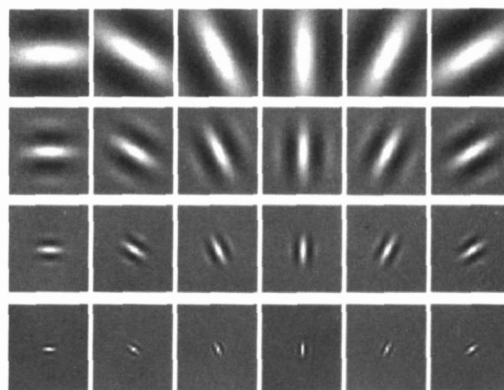
### 2.2 Gabor 特征描述

| r o F h F ^ ( i ) , θ ^ ( j ) ( x , y ) , i P ž , ž ) , " , j P ž , ž ) , " , İ , \*  
] Ö Ø " ' m ^ I ( x , y ) È ) , □ ž B F r o m ^ ¥ - '  
{ :

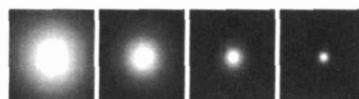
$$O_{F^{(i)}, \theta^{(j)}}(x, y) P \text{abs}(I(x, y) U h_{F^{(i)}, \theta^{(j)}}(x, y)) \quad (H)$$

8 L İ á İ æ " y İ ° Ũ = M Ø ( C H ) L C ë ¥  
Ø :

$$O_{F^{(i)}, \theta^{(j)}}(x, y) P \text{abs} \left\{ F^2 [ F(I(x, y)) \cdot F(h_{F^{(i)}, \theta^{(j)}}(x, y)) ] \right\} \quad (!)$$



(a) 4个尺度和6个尺度的滤波器组的实部



(b) 该组滤波器的幅度

图2 Gabor滤波器组

1 É ) 1 s , á İ n 5 n Á M ö O F ^ ( i ) , θ ^ ( j ) ( x , y ) İ ¥  
Ä B ) í í , | = » r o m ^ Ø 1 B ñ O O ( i , j ) , -  
a O ( i , j ) È ) B B Ä P μ , ( ' , † È Z μ , K a á

ì ¨ ž ( ¾ Œ Ø " ' m ^ ¥ ~ ~ ~ + ~ O :

$$OP(O(\tilde{z}, \tilde{z})^{\text{fl}}, O(\tilde{z}, \tilde{z})^{\text{fl}}, \dots, O(", *)^{\text{fl}})^{\text{fl}} \quad (\text{T})$$

$$\tilde{I}, O(i, j) \in \mathbb{R}^{O_F(i), O_F(j)} \quad \hat{I} \neq O. \text{fl V U "}$$

Â Ø. f " O O Ĩ c î μ V ~ ħ V • ¾ Œ Ø " ' m  
^ ¥ × 1 • (İ ñ „ H ñ Z \_), É ' ¹) İ N¹.

### 3 Gabor 特征的独立成分分析

Ü V ë ¥ s , á ì ¨ ž B ñ Ú » ¥ ~ ~ ~ + ~ O  
:  $O \in \mathbb{R}^k$ ,  $kP \gg 5q / 2A \times \sim 5/779/q / 2A \times ?9 < ?q \gg 1$   
+ ~ O ¥ » . ħ f " B ñ Ú » O μ¹ ñ Ø @ 1 p  
É › † ») Ø: (Ž) ~ ~ ~ f " " ^ d ž œ¥, r o ^ a ¥ m ^  
İ i ° Å • [\*, Ž(j);()] B t • Ø p Ø Ø ¥ ? C V ü ! Ě  
¥ Ě © © 9 ^ ~ \_ ħ " ¥ ® » b W Ĩ › î [Ž(j);(")  
, < 5 A ~ / © ^ Ž j . Ü " + ~ O » " ¥ 9 F, p î 1 p ¥  
" ' " " ö i • " 9 É; (İ) Ç V 9 Ø Ÿ İ n, 9 μ A 1 h  
~ ħ s Ě ¥ + ~ O ¥ » " . ' ¹ ^ B Œ Œ Å ¥ † » Z E.  
ñ ¥ × 1 + Ÿ ü ^ ( Z μ K İ ¥ i İ / " ® » 0 b W Ÿ  
V U Ü » Ø S " . Ü » ~ ~ ~ + ~ O O É › ' ¹ †  
»:

$$XP PO \quad (())$$

İ PP (p<sub>z</sub>, p), ..., p<sub>k</sub>)<sup>fl</sup> ∈ ℝ<sup>m × k</sup>, O m V k ¹ + ~ " , {  
X ∈ ℝ<sup>m ¹</sup> ® » ¥ + ~ O . œ ' ₁ ° ? " ħ ∈ " + ~ - W ¥  
M 1 Ÿ, , ? | + ~ ¥ Ÿ ë î s, 7 O ñ ^ B Œ ħ • | =  
" d 9 + Ÿ ¥ s Z E. 7 ₁ T ¹ B Œ Œ " d 9 ¥ • |  
s Z E V [ " Ÿ › î f B © . ñ ? Ü † • | s ³ ¹  
M ° Ÿ ë ¥ î s, ] Å Œ ® ä ä „ μ ä . 2.

#### 3.1 ICA 概述

₁ / œ ^ B Œ • ¥ ħ Œ " d 9 ¥ " s Z E %  
ñ ^ V B F \$ 4 © ¥ " İ 9 . ¥ Œ O / 7 O O  
İ Ä ñ í 4 N Ø ^ M ° Ÿ ë ¥ % M ~ / < 2849 © Ě F | ₁  
" ħ e \_ Á 3 ó r o ¥ { ² T / ó B Œ ħ H Ø d  
9 ¥ Œ Ø í • Z E / i ] ' ¹ É › 1 " ħ Œ Ø s Ě „ † İ  
L % İ 55 © Ě F ? Z B Œ ₁ † ~ / İ ~ • " ^ •  
" K v » - 5 Ÿ ' ç ¥ % Ø Ĩ P " B F ® ₁ † ~ ¨  
ž ¥ f " ¥ L Ÿ B F Ÿ V ~ + ç ¥ Œ Ø Œ Ě / i | f Œ Z  
E " ħ m ^ ¥ í S ü s Ě as é „ € . % 15 / 335 / Ě F 4 ₁  
r o F ¥ Ä Q " ħ Œ Ø m ^ s é / i ^ ¹ s é Œ Ø  
m ^ ¥ Ÿ ? ¨ í . Ä ä ħ ~ ~ ~ r o F % ' Ó P " ₁  
/ œ s Ü ~ ~ ~ r o ¨ ž ¥ Œ + ~ O İ ¥ Ÿ ë î s /  
y ë Ÿ ë ¥ ~ ~ ~ + ~ " ħ Œ Ø s Ě

#### 3.2 分析 Gabor 特征中的独立成分

á ì | ' ₁ { X ∈ ℝ<sup>m T ¹</sup> ₁ s ¥ 4 © O , i  
L ! X ¹ n ñ Ä © ¥ Ÿ ë î s S P [ s<sub>z</sub>, s<sub>y</sub>, ..., s<sub>n</sub>] ¥ L Ÿ F  
†, \* ¹ f Œ L Ÿ 1 " • İ T T M T, ' ₁ ¥ ' ~ :

$$XP AS \quad (\tilde{Z}\tilde{z})$$

f Ú A ^ Ä © ¥ m × n † i Ç " . ₁ ¥ " ¥ Œ ^ s ž  
B ñ s Œ " W, P ¨ {

$$YP WX \quad (\tilde{Z}\tilde{z})$$

í » Ÿ ë î s s ' s Œ " W ^ † " A ¥ İ H Ÿ ë

î s S ? \$ Œ ' 1 4 | Ÿ, Ž 5 € - W i † ½ (= 5 -  
A Z T 7 7 / # „ - ñ 38 ~ 5) ¥ M Ø. 9 Ø ¨ ž ¥ Y ü T ¹ K ^  
Œ Ø s Ě H P " ¥ + ~ O .

" - X Ü 4 , " ħ Ø s Œ " ¥ Z E. Ä X 5 »  
© Ě L C B Œ ħ • K v Ä ¥ e † Ø Ø E % 7 İ -  
A ~ 9 ) F 5 P ~ 1 - 0 E É › ħ É / [ 4 Œ İ Œ İ %  
+ @ ä 9 5 / Ě G ° • İ Ø μ æ v ¥ © r Ÿ / Ø Ÿ ¥  
% ç Ä Ø E Ě F \$ „ Ä d L Ÿ † Ø f " 9 μ æ / æ ~  
d Ÿ } T ? Z B Œ y î x r ¥ % ç Ä ñ : 37 ~ / < ~ 237  
: 5 < = 9 7 ~ Ø 94 A # Ø E % ' Ó • " ¾ Ø E ¨ ž Ÿ ë ¥ ~ ~ ~  
+ ~ , T Ä / :

$$W^R P W Q \mu [C^Z E(Xg(W^R X)) Q \beta W] / [E(g'(W^R X)) Q \beta] \\ W^U P W^R / \sqrt{(W^R)^n C W^R} \quad (\tilde{Z})$$

İ, W „ W Ÿ s Y V U ' - ' „ Ü Ÿ } ¨ ž ¥ • ' . μ ¹ Ÿ  
} „ É, ñ ö Œ " Ÿ } Q " 9 F 7 y İ h İ , S ' | Ž β P  
E { W Ÿ X g ( W Ÿ X ) } " ħ B B Ä [ 4 Œ Ø E ¥ x r Ÿ . g ¹ 1  
f " ( 8 ° T ~ 37 : 2 / 8 8 / ), V | G ( u ) P ½ u ¹, g ( u ) P u . c P E  
{ X X Ĩ } ¹ 4 © O X ¥ x Z μ " .

#### 3.3 相似性测度与分类

4 | Ÿ ë ¥ Œ Ø + ~ - ^ L ^ s Ě ¥ ! 9. L ç  
M k, k P Ž), ..., L ^ ® Œ Ø Œ Œ ω<sub>k</sub> p " ' ¨ ž ¥ + ~ O  
¥ ( ' , L ¹ Œ Ø Œ Ě , 5 á ì • " f ( M ~ 4 ~ / ° ~ 8 )  
Œ d K # í 5 / É › s Ě :

$$d(Y, M_k^Z) P A 9 (d(Y, M_j^Z)) \rightarrow Y \in \omega_k \quad (\tilde{Z})$$

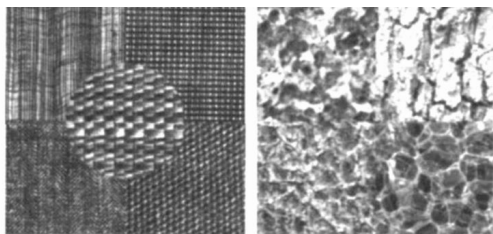
$$d(X, Y) P (X Q Y)^{\text{fl}} V^Z(X Q Y) \quad (\tilde{Z})$$

İ, V ¹ X „ Y î ¥ + ~ O " ¥ x Z μ " . f Œ |  
€ s Ě ¥ + ~ O Y B Ě ž Ø K í ¥ ( ' M k Ĩ S M ¥ Œ  
Ø Ě Y ω<sub>k</sub>.

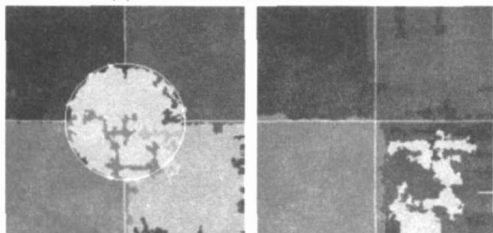
#### 4 实验

¹ £ „ B N ' Ó î 4 ¥ Œ Ø + ~ 4 | „ s Ě Z E,  
á ì É › Ø ñ Z ë ¥ L : (Ž) • " F X ~ < 7 0 \* j Œ Ø "  
mosaic Ž „ mosaic). İ, mosaic Ž ® Œ Ø D Ž Ž ħ a d) Ž a Ž ħ a  
D ! ( ( P ž • / ) „ D \* ( İ W F î ( n m " ( a ) P H ), f Ø  
Œ Ø Ø b W x V C ¹ Œ Œ Œ Œ T M T, y N ° Œ =  
ö μ N { T M T; mosaic ) ® Œ Ø D ) T a Ž Ž a d ( ) a d Ž Ž ( P  
ž • / ) F î ( n m " ( a ) • H ), f ¹ Œ Ø Ø b W x ,  
μ Œ A ¥ Œ Œ Ÿ , i x ç ¥ Œ Ø í , Œ x İ ¹ z { •  
| , f ħ . d ¥ ~ ~ ~ r o Z E ^ B Œ Ø G ^ & ĩ ) # | ' Ó  
Z E ] ~ ~ ~ r o Z E a ₁ Z E É › 1 % ~ ~ ~ r o Z  
E „ ' Ó Z E P " M ] ¥ r o F / i O ® r o m ^ ° ¨ y  
ë ~ ~ ~ + ~ O " ħ s Ě / - î [ Ä μ É › r o ¥ ñ É /  
" ¥ ^ 1 4 ³ F † ' ₁ „ ₁ + ~ s ¥ ? i % 7 ₁ Z  
E 5 ° ¨ ® Ø S Œ Ø m ^ " ' y ë p " / f " V [ 1  
ù î ~ ~ ~ r o F < Œ Ø + ~ ( B ç Œ q a Z \_ „  
¥ + ~ ) Z ë ¥ ? i ; ( " ) œ ' Ó Z E , 4 ³ , ] 3 g j  
s Ě Œ ¥ • Y . 3 g j Œ Ø s é / s Ě B ° ^ B ñ 1  
1 o ¥ y İ T / Ü V v ¥ L á ì ? C 3 g j [ ?

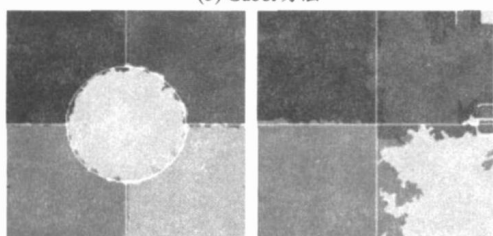
Q ~ Ø Ì í 1 † a. m" ¥ L ² T Ī, mosaicŽ ¥ 3 g  
j 1 Ž"×Ž" ^ Í, mosaic) ¥ 3 g j 1 )(×)( ^ Í.  
m" ¥ mosaicŽ s Ě ² T Ī, @ ž " ro ZE Ī Ā +  
~ É › © ...) Ø, y N s Ě ² T i, Ø X, s Ě µ ¹ !. l" %  
( n V Ž), - D \*\* Ī C " p . 7 ž 1 „ ' Ó Z E  
M z, s Ě Ú 1 ¨ í, µ s Y r ž Ž T \* % „  
Ž ž \* % . 7 mosaic) s Ě µ Ú, " ro Z E s Ě µ  
Ú r )) .) H %, 7 ž 1 9 µ Ž). Ž ! % . Œ " z ¹ £ ' Ó Z E  
Œ , j @. d " ro P " H q ¥ Œ Ø s Ě í  
µ ¥ ¨ ], s Ě µ † ž H Ī %, ° ^ H, ç Ē C B  
t p ^ Í. V V) á Ī V [ A , mosaicŽ „ mosaic) s Y  
3 g Ž"×Ž" ^ Í „ )(×)( ^ Í / | ¨ K l ¥ s Ě µ, ñ  
ì ' „ Ä Œ Ø Ø ¥ í j M' . 7 Ū " 3 g ¥ j ¥ 9  
F, mosaicŽ ¥ s Ě µ ü A 9 v, 7 mosaic) • µ î † @.



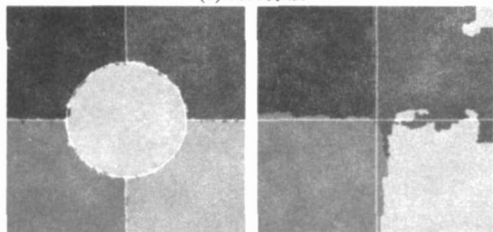
(a) mosaic1 and mosaic2 实验图像



(b) Gabor 方法



(c) ICA 方法



(d) 本方方法

图3 实验结果  
表1 纹理分类误差

L m^	" ro ZE (%)	ž 1 ZE (%)	' Ó Z E (%)
mosaicŽ	!. l"	Ž. T*	Ž. ž*
mosaic)	)). )H	Ž). Ž!	H. HŽ

表2 本文方法的分类误差

3 g j	mosaicŽ	mosaic)
* × *	). )" )"	Q
( × (	Ž. ŽT	Q
Ž" × Ž"	Ž. ž*	"". )Ž
Ž! × Ž!	). ()	)." )"
)Ž × )Ž	T. !Ž	ŽŽ. !)
) × *)	Ž). *!	T. *(
)( × )(	Q	H HŽ
" × "	Q	!). )" )"

Q V U N 3 g / , s Ě µ " v X Ā µ i l .

## 5 结论

' Ó Ç k | " ro „ ž 1 / Œ M² † " ž Œ Ø s  
Ē / B Z ě Y V " ro F l Œ Ø B ç Z \_ a „  
b W Œ q ¥ + ~ & 6 B Z ě G L ' ž 1 „ ž 1 " + ~  
É › s „ ñ Ē % Y V Đ . d ¥ " ro Z E „ • ¥  
ž 1 Z E É › 1 L / £ ' Ó Z E ^ B Œ µ r ¥ Œ Ø  
+ ~ 4 | „ s Ě Z E % Œ ^ s Ě V ñ Ī / + ~ O » " M  
Ú / ó 9 Ø { Ÿ " , L / ^ B ñ ³ 1 ³ % ¥ Ū 5 / Ē Ā  
á Ī L Ī • " Ī ñ „ H ñ Z \_ " ro F / 3 g  
j N P Ž " H / 5 @ r o ² T m ^ / ¥ + ~ O » " ¹  
) Ī N P Ī ž \* W ' P • " ' ž 1 † » K a ¨ ¨ ¥ " ž Œ Ø s  
Ē ¥ + ~ O » " 9 ^ " Ú ¥ % Œ f ñ Ū 5 / B Z ě á Ī V  
[ Ī n " ro ² T m ^ Ē ^ Ī | h Ī m ^ j L  
C + ~ O † » / Œ f " S 9 ö é > B † m ^ • & 6 B Z ě  
V [ Ç k s ž B Œ » " M @ ¥ + ~ O / Z E " ž  
ž 1 s / f B ± ^ 9 ^ " - ž 1 " ž Œ Ø s ¥ ö 1 ù í  
= , - B %

## 参考文献

- EŽ F M Ī 285 " @ // 1 Y W 9 % Ī 5672 5 1 / ~ @ 393 E M F % 9 / 745 + ~ / < " ° B  
° : ' ~ 75 / L 58 ° 0 / 99 / ~ / < " ° A = 25 " L 939 / Ī / < , < 99 " # / " °  
~ + ~ 45 / I C ' 2 / ' K ' 1 Ī 5 < 3 % # / 1 ° > K 85 / 79 9 ' 2 ' > 84  
90 ~ ° / K 90 ~ = ° 5 / Ž ( T % ) ž ! Q ) Ī T %
- E) F W Z 4 / 0 / Ī Ī / % X " 5 : 5 ; 5 ? ° : 9 ; ~ 9 / 7 5672 5 ~ / ~ @ 393 A 574  
° < 3 E W F % " 75 / L 58 ° 0 / 99 / ) ž ž / " # " # \$ ! " " \* Q Ī ! %
- E" F Ī ~ X ; 9 / M ~ > ~ B / 1 K 5 9 > 5 % M 2 > 984 ~ / 5 > 5672 5 ~ / ~ @ 393  
239 / 0 > 8 ~ 95 < 3 = ~ 7 > : 95 ~ 3 E W F % , , , Ī ~ / 3 8 79 / 3 ° / ' 75 /  
1 / ~ @ 393 ~ / < M ~ 849 / 5 / 75 > 95 / 85 / Ž ( ( ž / Ž ) Ī ž # \$ \* \* Q ! " %
- E Ī F O 02 // 1 , + 909 / 3 / W Ī 1 ~ B 5 > 5 % Ī 5672 5 350 A 5 / 7 79 / 239 / 0  
> O " " " 5 > A 5 / 7 " @ : 2 / 879 / 3 E W F % , , , Ī ~ / 3 8 79 / 3 ° / ' 7  
5 / 1 / ~ @ 393 ~ / < M ~ 849 / 5 / 75 > 95 / 85 / Ž ( ( Ī / Ž H Ī ) # \$ Ž " ž Q  
Ž Ī ( %
- E \* F O 02 // 1 , + 909 / 3 J = 79 A ~ " " " : 95 ~ 3 : " 5672 5 350  
A 5 / 7 79 / E W F % , , , Ī ~ / 3 8 79 / 3 ° / A 05 " " 85339 / 0 / Ž ( ( \* / Ī  
Ī ! # \$ ( Ī ! Q ( H %
- E H F " = H / ^ Á Ū B Œ Œ Ø ö Œ ¥ \_ © Đ s é E W F %  
µ 2 v Đ Đ Ī Ī 1 - S Đ ñ # / ) ž ž / ) ( Ī " # S H H Q ! ž %  
~ 9 . 5 [ 9 / 0 . 9 W ~ = 90 % O 5758 9 / 0 A 9 / : 5 [ 25 / 853 : " A 2 79

38~5 75672~5 9A~05 ~/< 75672~5 350A5/79/0EWF%W2~/>°: +2  
/~ / \ / 9 5~397@fi- ~72~> K895/853 , < 99 / # / ) žžž / ) ( fi "# SHHQ ! ž  
fi9/ ~ 49/535#

E!F Rë/ë . é / d v . % ž ~ ~ ~ l o MĐ¥ í S ü Œ Ø  
m^ s é EWF% ± ? Z / ) žžž / \* fiH# \$ \* ŽQ \* 1 %

2° I 9 Z42 W2/D42/I2 O~42% ~ ~ ~ ? ~ ; 5~577~/3~° A~79/ ~  
~35< 2/32=5~; 95< 75672~5 9A~053 350A5/779/ E WF% M9  
8~°38° A=275° O5; 5~° A=5/7) žžž / \* fiH# \$ \* ŽQ \* 1 % fi9/ ~ 49/535#

ETF 1 Y W9/ C C ~ ~ ~ B4/9% \ / 32=5~; 95< 75672~5 350A5/779/ 23  
9/0 ~ ~ ~ : 95~3EWF% ~ 75~ / L58°0/99° // Ž((Ž/)) fiH# \$ ŽŽH! Q  
ŽŽTH%

E(F f . / A r / f ½ \$ % ž ~ ~ ~ MĐ¥ Â r m^ r o # í  
S ü s é EWF% ž Ĭ Ø ý v Đ Đ / Ž((! / ) \* fiŽ) # \$ Ž1 Q ŽH%  
Z4~0 W2/ I 92 W9// Z4~0 Z49~° / 0% K1 L 9A~05 : 95~9/0 ~ / <  
2/32=5~; 935< 75672~5 350A5/779/ ~ ~35< ~ / ~ ~ ~ ? ~ ; 5~57  
7~/3~° A~79/ E WF% W2~/>°: +2~D4~/0 \ / 9 5~397@° : K895/85  
~/< fi 584/° > 0@ Ž((! / ) \* fiŽ) # \$ Ž1 Q ŽH% fi9/ ~ 49/535#

EŽZF X K M ~ / 12~ / 74/ 1 . M ~ fi 5672~5 : 5~72~53 : ~ ~ ~ ? 39/0 ~ / <  
~57~5; >°: 9A~05 <~7 E WF% , , , fi~ / 3~879/3 ~ / ~ 75~ /  
1 / ~ 393 ~ / < M~849/5 / 75~805/85/ Ž((H/ ŽTfiT# \$ T! Q T1) %

EŽZF K , ~ 90~5382/- ~ 57B~; / Y~299/0~° A~°=93° /°: 75672~5  
: 5~72~53 ~ ~35< ~ / ~ ~ ~ : 95~3EWF% , , , fi~ / 3~879/3 ~ / A~  
~05 ~ ~ 85339/0) žžž / ŽŽfiŽž# \$ ŽŽH! Q ŽŽH! %

EŽ) F L I 5; 53[25% fi 5672~5 350A5/779/ 239/0 ~ ~ ~ : 95~3E L S  
J I F%) žžž%

EŽF F L M ~ / < 2849 W ~ ~ ~ 75~° / < 5~5/ < 5/7 8° A=° / 5/7 ~ / ~ 393° :  
75672~53E1 F% 9 ~ ~ 855<9/03° : / 75~ / 79/ ~ / ~ : 5~5/85 ~ /  
~° A=275° L939/ E~F% ~ ~ ~ 2/ ~ 5585/ Ž((%)

EŽI F fi 1 I 55/ M K I 5? 9889% \ / 32=5~; 95< 9A~05 8~33998~79//  
350A5/779// ~ / < 5/4~ / 85A5/7 239/0 ~ 1 A 9572~5 A~° < 5~3  
EWF% , , , fi~ / 3~879/3 ~ / A~05 ~ ~ 85339/0) žžž / ŽŽfi "# S) ! ž  
Q) ! (%)

EŽF F L W5/335// fi , 7~: 7% „ 1 : 95~ ~ ~ / B : ~ ~ 350A5/779//°: 756-  
72~5< 9A~053E1 F% 9 fi 45 174 / 75~ / 79/ ~ / > K@A=° 392A° / ~ / <  
~5=5/ < 5/7 ~° A=° / 5/7 1 / ~ ~ 393 ~ / < X~9< K9/ ~ > K5=° ~ 79/ /  
E~F% ~ ~ / W=° // ) žžž%

EŽHF K M ~ 85~N° M~745A~79~> < 538~9~79/°: 745 ~53~° / 35°: 39A=5  
8~°79~> 85~3EWF% W2~/>°: 745 J=79~> K~857@°: 1 A5~98~/  
Ž(Tž/ ! žfiŽž# \$ Ž) ( ! Q Ž ~ žž%

EŽI F W O~20A~° / \ / 85~79/7@~5~79/ : ~ ~ ~ 53~> 279/ / 9 3~° 85/ 3~°  
79>: 5[25/8@/ ~ / < ~ 75/779/ /°: 79A 95< ~ @ 7?° < 9A5/39/ ~ >

; 92~> 8~°79~> : 95~3E WF% W2~/>°: 745 J=79~> K~857@°:

1 A5~98~/ fi # / Ž(T~ / ) fi ! # \$ ŽŽH! Q ŽŽH%

EŽTF O 1 ~° > 5/ A/ K C L ~° / 5~° L932~> 8~°79~> / 52~° / 3 ~3> 8~° 95<  
3~° 79>: 5[25/8@ : 95~3EWF% , , , fi~ / 3 KM~ / Ž(T~ / Ž) fi \* # \$  
(ž! Q ŽH%

EŽ(F fi L ~ / < 5// W + +23° @ C95~9/0 : ~ ~ 75672~5 8~33998~79/ S ~  
8° A=° ~ 79; 5 372~° @ EWF% , , , fi~ / 3~879/3 ~ / ~ 75~ / 1 / ~ 393  
~/< M~849/5 / 75~805/85/ Ž((( / )) Žfi # \$) (ŽQ ~ Žž%

E) ŽF K , < 5A~° % L5=° 535/779/ ~ / < L58°0/99/ / 9 L99/ E M F%  
~ ~ / ~ 9~05% M1 SM fi ~ ~ 533/ Ž((%)

E) ŽF 1 WX5~ / fi W K5W~° 3B9 1 / 9: ~° A~79/ A~69A 9~79/ ~ =  
~° 84 7 ~ 9< 35=° ~ 79/ ~ / < ~ 9< < 58° / ; ~ 279/ EWF% ~ 52~>  
~° A=27/ Ž(( / ! fi \* # \$ ŽŽ) (Q ŽŽ \* (%)

E)) F K 1 A~° 9~° 72~> 0~° < 5/7 5~° / 9/0 : ~ ~ ; 5~° ~ / < 2/ < 5~° 8° A=575  
~ 353 9/ „ 1 EWF% ~ 52~> ~° A=27/ Ž((ž/ Žfi # \$ ŽT! \* Q ŽT! %

E) F 1 + @ ~ 9/5/ % C~37 ~ / < ~ ~ 23~: 95< ~° 9/7 ~ 0~° 94A3 : ~ 9/ < 5~  
=5/ < 5/7 8° A=° / 5/7 ~ / ~ 393EWF% , , , fi~ / 3~879/3 ~ / ~ 52~>  
~ 57~° B3/ Ž((( / Žfi "# S) H) HQ H~1%

E) I F 1 + @ ~ 9/5// , J N % ~ : 37: 95< ~° 9/7 ~ 0~° 94A : ~ 9/ < 5~° /  
< 5/7 8° A=° / 5/7 ~ / ~ 393EWF% ~ 52~> ~° A=27/ Ž((! / (fi # \$ ŽT! T  
Q Ž(i) %

E) \* F ~ X~° < 70% fi 5672~5 S1 ~ 4° 7° 0~° = 4831 ~ 2A : ~ ~ 1 ~ 7973 ~ / < C5-  
390/5~3E M F% ~ 5? . ~ ~ BSO° ; 5/ Ž (H H%)

## 作者简介



陈洋 3/Ž(I H MT 3 ž ' C ~ 8  
W: ^ g/ C^1 S] S/ v Đ È 0 S Đ Đ ý ñ Đ  
ý i fi L S E x Ä L i p V ù i 3/ ò 1 ù i  
Z \_ 1 m^ ) Ø as Đ Ø 3 %  
,- A~95355A59? 9 75~] 3° 42% A



王润生 3/Ž(I Ž MT 3 ž ~ È 8 Ü  
g/ Ž(H M8 < ž W: ^ + Y ý ñ Đ ý È 0 ý ñ  
"/ C^1 S] S/ v Đ È 0 S Đ Đ ý ñ Đ ý •  
q/ • | Đ • ) Ø p V 3 • = / Ĭ S m^ m T M  
Đ ò È Ø Y/ Ĭ S È 0 Đ ò Ú) ò ò / Z s Ÿ  
© + y Ä L % ò 1 V Y m^ ) Ø as Đ Ø 3 /  
T M Y „ • μ † © Z E ¥ S Đ ù i „ • Đ ý  
T%, - A~953? / 0 ] / 2< 7% 5~2% 8/