



Departament de Física Aplicada i Òptica
Programa de Micro i Optoelectrònica Física
Bienni 1994-96

DISSENY D'UN PROTOCOL NUMÈRIC PER A LA
CLASSIFICACIÓ INVARIANT D'IMATGES APLICANT
TÈCNIQUES MULTIVARIANTS

Memòria presentada per optar al títol de doctor en Ciències Físiques

Directors:
Dr. Arturo Carnicer González
Dr. Ignacio Juvells Prades

Jordi-Roger Riba Ruíz
Barcelona, maig de 2000

8. Temps de càlcul

En aquest capítol es farà una estimació del temps de càlcul de tots els algorismes aplicats en aquest treball. En cap moment s'ha pretès fer un estudi detallat del cost computacional dels diferents algorismes, perquè, a part de ser un tema fora de l'abast d'aquest treball, en alguns dels algorismes utilitzats (sobretot en la fase de calibratge del model) no es pot conèixer *a priori* ni tan sols el nombre d'iteracions que es requereixen, perquè aquest depèn de factors difícils d'avaluar. Tot això fa que sigui molt difícil fer una estimació precisa del cost computacional del procés sencer de classificació. Per tot això explicat, només s'ha volgut estimar el temps de càlcul de cada un dels algorismes en utilitzar un ordinador personal, així com el temps de càlcul de tot el procés.

S'ha calculat directament el temps de càlcul com el nombre de segons que tarda la màquina a executar el programa. Aquest temps sí que és senzill de calcular, perquè tots els llenguatges de programació tenen instruccions destinades a aquesta finalitat. El temps necessari per executar tot el conjunt d'algorismes del procés de classificació dóna una idea força exacta de si el procés de classificació és viable o no amb vista a efectuar un reconeixement de formes en temps real. En parlar del concepte de *temps real* es fa referència al fet que l'ordinador pugui donar resposta immediata (inferior a unes poques dècimes de segon, per exemple) de la classe a la qual pertany l'objecte que s'està classificant.

Cal tenir en compte que el temps necessari per classificar un objecte ve donat per l'expressió següent:

$$t_{\text{TOTAL}} = t_{\text{CI}} + t_{\text{RD}} + t_{\text{C}}, \quad (8.1)$$

on:

t_{CI} : temps de càlcul de les característiques invariants.

t_{RD} : temps de reducció de dimensions (CVA, PCA...).

t_{C} : temps de classificació (k NN, LDA, QDA...).

S'ha de tenir present que el temps que necessita un ordinador per executar diverses vegades un mateix programa pot no coincidir, és a dir, pot presentar diferències que a vegades poden ser grans depenent de l'estat del microprocessador (si està fent altres tasques o no). A més, el temps de càlcul depèn d'altres factors, com ara:

- El model d'ordinador utilitzat, la freqüència del rellotge, etc.
- El compilador utilitzat (fabricant, nombre de bits, etc.).
- El sistema operatiu en el qual es basa el compilador.

Un altre temps important és el de calibratge del model matemàtic de classificació a partir dels objectes de calibratge. Aquest procés, però, no es porta a terme en temps real, no forma part del procés directe de classificació, sinó que normalment s'efectua només una vegada i sempre abans del procés de classificació dels objectes de test. Els algorismes que requereixen temps de calibratge elevats poden ser tan ràpids o més en la fase de classificació d'objectes de test que els que requereixen temps de calibratge reduïts.

Tots els temps expressats a continuació han estat calculats basant-se en un microprocessador Intel Pentium II a 233 MHz. A més, s'ha optat per donar els temps de la majoria d'algorismes d'acord amb dos compiladors diferents: el Borland Turbo C++ 1.01, de 16 bits i el Microsoft Visual C++ 2.0, de 32 bits. Amb un ordinador personal d'última generació tots aquests temps es poden reduir considerablement (probablement en un factor 2 o més). A més, aquests temps també inclouen els temps de lectura de les dades originals i, en alguns casos, els temps de gravació de les dades de sortida dels algorismes en el disc dur.

Tots els càlculs exposats en els propers apartats s'han realitzat prenent com a base les signatures (vegeu el capítol 7) perquè, en haver estat digitalitzades amb més resolució i tenir definides un major nombre de classes que els segells (vegeu el capítol 6), el problema de les signatures serà computacionalment més car.

8.1. Temps de càlcul de les característiques invariants

A continuació s'exposen els temps de càlcul de les quaranta-vuit característiques invariants computades per a cada signatura. S'ha de tenir en compte que tots els resultats que es donen a continuació no són absoluts. Per exemple, dues signatures diferents realitzades per la mateixa persona poden requerir temps de càlcul lleugerament diferents perquè segurament tindran diferents perímetres i àrees, i el temps de càlcul depèn d'aquests factors. Quan s'avaluen signatures de diferents persones, aquestes diferències encara s'accentuen més. Per tant, no es pot fixar un valor concret del temps de càlcul de les característiques invariants de cada signatura. Per determinar un valor orientatiu d'aquest temps, s'ha avaluat el temps necessari per calcular les característiques invariants de 300 signatures i, a partir d'aquest valor, s'ha determinat el temps mitjà. Per tant, hi haurà signatures que estaran per sobre del temps mitjà i altres que estaran per sota d'aquest.

Signatures		
Càlcul de les 48 característiques	16 bits	32 bits
Temps total per als 300 objectes (s)	528,16	84,75
Temps unitari mitjà (s/objecte)	1,76	0,28
Desviació estàndard (s/objecte)	0,08	0,04
Temps màxim 1 signatura (s)	2,03	0,39
Temps mínim 1 signatura (s)	1,53	0,21

Taula 8.1.

La taula anterior mostra el temps total de càlcul de les característiques de 300 signatures, el temps unitari mitjà per signatura, la desviació estàndard dels temps unitaris per signatura i els valors extrems (màxim i mínim) dels temps de càlcul unitaris.

8.2. Temps de càlcul dels algorismes de reducció de dimensions

Una vegada calculats els temps de les característiques invariants, és convenient conèixer la velocitat d'execució dels algorismes de reducció de dimensions (transformar les m característiques en $m^* < m$ variables). Els temps mitjans són més fiables que els de l'apartat anterior perquè en aquest cas els càlculs es basen en una matriu numèrica (matriu X de característiques) de dimensions fixes i no en imatges d'àrea variable, com en el cas anterior.

La taula següent mostra els temps de calibratge necessaris per generar, a partir de les 300 signatures del conjunt de calibratge, els quatre models de reducció de dimensions (CVA, DPCA, OCVA i PCA; vegeu el capítol 3). Cal tenir en compte que, en general, el model de reducció de dimensions només s'ha de calibrar una vegada i que aquest procés sempre s'ha de realitzar abans de classificar els objectes de test. Quan es classifiquen objectes de test, no intervé el temps de calibratge de l'algorisme de reducció de dimensions. La taula següent també mostra el temps de reducció de dimensions dels objectes de test.

Model	Concepte	16 bits	32 bits
CVA	Temps de calibratge de la CVA (s)	2,31	1,21
	Temps de reducció de dimensions per 1 objecte de test (s/objecte)	$0,11/300 = 3,7e-4$	$0,06/300 = 2,0e-4$
DPCA	Temps de calibratge de la DPCA (s)	1,43	1,15
	Temps de reducció de dimensions per 1 objecte de test (s/objecte)	$0,01/300 = 3,3e-5$	$0,01/300 = 3,3e-5$
OCVA	Temps de calibratge de la OCVA (s) (10 primeres variables)	1525,1	503,3
	Temps de reducció de dimensions per 1 objecte de test (s/objecte)	$0,3/300 = 1,0e-3$	$0,3/300 = 1,0e-3$
PCA	Temps de calibratge de la PCA (s)	1,76	1,27
	Temps de reducció de dimensions per 1 objecte de test (s/objecte)	$0,60/300 = 2,0e-3$	$0,38/300 = 1,3e-3$

Taula 8.2.

En el capítol 7 es va veure que, per al cas de les signatures, el mètode de reducció de dimensions més eficient era la CVA. En la taula 8.2. es comprova que, a més, és molt ràpid.

8.3. Temps de càlcul dels algorismes de predicció i de classificació

Una vegada calculats els temps de les característiques invariants, és convenient conèixer la velocitat d'execució dels algorismes de predicció i de classificació. En aquest apartat se suposa que ja s'han reduït les dimensions als objectes i , que per tant, es troben descrits per m^* variables, resultants de transformar les m característiques invariants.

La taula 8.3. mostra els temps de calibratge dels diferents mètodes de predicció i de classificació explicats en el capítol 5, així com els temps mitjans de classificació dels objectes de test.

Per calcular el temps de calibratge s'han agafat les m^* primeres variables (cinc variables canòniques resultants d'aplicar la CVA en tots els mètodes, excepte en PCR i PLS, en què s'han agafat els 28 primers components principals; vegeu la taula 7.19.) de les 300 signatures de calibratge. Per determinar, pels diferents algorismes, els temps estimats de classificació dels objectes de test, s'han classificat els 300 objectes de test i aquest temps total de classificació s'ha dividit per 300 a fi de calcular el valor mitjà.

8.4. Temps total de classificació d'objectes de test

Suposarem, per exemple, que agafem les cinc primeres variables canòniques de la CVA i que apliquem el mètode dels k veïns més propers, amb $k = 4$. El temps esperat (mitjà) de classificació d'una signatura qualsevol, suposant que el programa ha estat compilat a 32 bits, vindrà donat per l'expressió 8.1:

$$t_{\text{TOTAL}} = t_{\text{CI}} + t_{\text{RD}} + t_{\text{C}} = 0,28 + 2,0e-4 + 2,2e-3 < 0,3 \text{ s}$$

En l'expressió anterior es veu que, com que el temps de càlcul dels algorismes de reducció de dimensions i de classificació és de l'ordre de mil·lèsimes de segon, aquest és menyspreable comparat amb el temps de càlcul de les característiques invariants (de l'ordre de dècimes de segon). Si canviem de mètode de reducció de dimensions i/o de mètode de classificació, el temps total pràcticament no es veurà alterat. Per tant, quan es classifiquen objectes de test, la pràctica totalitat del temps de càlcul es consumeix en el càlcul de les característiques invariants.

Model	Concepte	16 bits	32 bits
PLS	Calibratge 300 objectes (s) (144 models)	350,6	117,53
	Classificació 1 objecte (s/objecte)	$1e-1/300 = 3,3e-4$	$5e-2/300 = 1,6e-4$
PCR	Temps calibratge 300 objectes (s) (144 models)	311,48	70,63
	Classificació 1 objecte (s/objecte)	$0,1/300 = 3,3e-4$	$0,05/300 = 1,6e-4$
LDA	Calibratge 300 objectes (s)	2,03	0,99
	Classificació 1 objecte (s/objecte)	$1,92/300 = 6,4e-3$	$0,39/300 = 1,3e-3$
QDA	Calibratge 300 objectes (s)	2,03	0,99
	Classificació 1 objecte (s/objecte)	$2,09/300 = 7,0e-3$	$0,49/300 = 1,6e-3$
SIMCA	Calibratge 300 objectes (s) (144 models)	-	2,92
	Classificació 1 objecte (s/objecte)	-	$0,5/300 = 1,7e-3$
DASCO	Calibratge 300 objectes (s) (144 models)	-	2,91
	Classificació 1 objecte (s/objecte)	-	$0,5/300 = 1,7e-3$
kNN (k = 4)	Calibratge 300 objectes (s) (30 models)	27,20	4,23
	Classificació 1 objecte (s/objecte)	$0,82/300 = 2,7e-3$	$0,66/300 = 2,2e-3$
Paral·lelepípede	Temps calibratge 300 objectes (s) (180 models)	32,31	15,76
	Classificació 1 objecte (s/objecte)	$0,06/300 = 2e-4$	$0,06/300 = 2,0e-4$
Backpropagation	Calibratge 300 objectes (s)	-	$\approx 1200 \text{ s} = 20 \text{ m}$,
	Classificació 1 objecte (s/objecte)	-	$0,06/300 = 2,0e-4$
Radial Basis	Calibratge 300 objectes (s) (30 models)	-	$\approx 600 \text{ s} = 10 \text{ m}$,
	Classificació 1 objecte (s/objecte)	-	$0,1/300 = 3,3e-4$
Lògica difusa	Temps calibratge 300 objectes (s) (300 models)	257,53	103,65
	Classificació 1 objecte (s/objecte)	$3,1/300 = 1,0 \text{ e-2}$	$1,8/300 = 6,0e-3$

Taula 8.3.