

Evaluarea modelelor liniare de evaluare a costului testarii software

Lect. dr. Paul POCATILU

Catedra de Informatica Economica, ASE Bucuresti

The performances of the linear models used to evaluate the costs of software testing need to be analyzed. In order to do that, the following operations occur: the analysis of the models' quality, the models refinement and the verification of the models' stability.

Keywords: software testing, costs, linear models, evaluation.

Analiza calitatii modelelor liniare

Se considera o serie de modele liniare M_1, M_2, \dots, M_m utilizate pentru evaluarea costurilor testarii software. Pe baza evaluarilor pentru costurile testarii, utilizând modelele liniare considerate, pentru t programe P_1, P_2, \dots, P_t , se întocmeste tabelul 1, unde y_{ij} reprezinta costul testarii programului P_j evaluat cu modelul M_i .

Tabelul 1 – Costurile evaluate în functie de complexitatea programului

Program \ Model	P_1	P_2	...	P_j	...	P_t
M_1						
M_2						
...						
M_i				y_{ij}		
...						
M_m						

În momentul în care se procedeaza la testarea efectiva, pe baza datelor obtinute se construiesc tabelul 2.

Tabelul 2 – Costurile efective ale testarii programelor

Program	Cost efectiv
P_1	y_1
P_2	y_2
...	...
P_j	y_j
...	...
P_t	y_t

Se calculeaza diferentele dintre costul efectiv si costul obtinut prin evaluare pentru fiecare model M_i si pentru fiecare program P_j : $\Delta_{ij} = |\hat{y}_{ij} - y_j|$ si se construiesc matricea diferentelor (tabelul 3).

Pe baza diferentelor Δ_{ij} din matricea diferentelor

se calculeaza indicatorul: $\Gamma = \frac{\sum_{j=1}^t a_{ij}}{t}$ unde: $a_{ij} = 0$ dacă $\Delta_{ij} > x$ si $a_{ij} = 1$ dacă $\Delta_{ij} \leq x$.

Tabelul 3 – Matricea diferentelor abaterilor

Program \ Model	P_1	P_2	...	P_j	...	P_t
M_1						
M_2						
...						
M_i				? _{ij}		
...						
M_m						

Se considera a limita acceptabila a diferentelor, iar a si $b \in [0, 1]$, $a < b$, limitele intervalului de încredere pentru reprezentativitatea modelelor de evaluare, alese pe baze experimentale.

Dacă $\Gamma \in [a, b]$ se accepta modelul liniar si se considera ca modelele sunt bune. Dacă $\Gamma \notin [a, b]$ se elimina modelul cu cele mai multe valori zero pe linie.

Dacă va exista apartenenta $\Gamma \in [a, b]$, atunci se considera ca aceasta clasa este reprezentativa si procedeul continua.

Rafinarea modelelor liniare

Au fost identificati foarte multi factori care influenteaza efortul de testare a produselor software. Este dificil sa se lucreze cu modele având un numar atât de mare de factori, de aceea este necesara rafinarea modelelor.

Se considera modelul liniar: $Y_1 = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i$

unde: Y_1 – variabila dependenta; a_i – coeficientii estimati, $i=0, n$; x_i – variabila independenta care corespunde factorului F_i , $i=1, n$.

Studiul calitativ al dependentelor factorilor F_1, F_2, \dots, F_n conduce la construirea de modele liniare reprezentative cu ajutorul carora se evalueaza fie evolutia unor fenomene, fie nivelurile unor parametri, pentru fundamentarea deciziilor sau pentru planificarea resurselor sau fondurilor necesare pentru achizitionarea acestora. Cu cât n (numarul de factori luati în considerare) creste, se modifica în sens pozitiv si calitatea modelului si reprezentativitatea acestuia. Daca modelele M_1 si M_2 nu difera semnificativ, dar numarul de variabile ale modelului M_1 este mai mic decât numarul de variabile ale modelului M_2 , rezulta ca modelul M_1 este o rafinare a modelului M_2 .

În procesele de dezvoltare software factorii care influenteaza procesul de testare sunt numerosi si instrumentele cu care se dezvolta produsele software culeg automat date privind consumurile de resurse, comportamentul dezvoltatorului si permit efectuarea de masurari asupra fiecarui stadiu parcurs si a fiecarui modul. Bazele de date care se construiesc automat în procesul de dezvoltare software sunt deosebit de complexe si contin foarte multe date care satisfac prin numarul lor orice structura de model liniar.

Problema rafinarii modelului liniar a avut la baza timp de multi ani necesitatea de a reduce efortul culegerii datelor pentru construirea seriilor de date aferente celor n factori de influenta. Rafinarea modelului revine la a reduce numarul de factori de la n la p , cu p mult mai mic decât n , astfel încât modelul

$Y_2 = a_0 + \sum_{i=1}^p b_i x_i$ sa conduca la obtinerea unor

erori de reprezentativitate acceptabile, astfel încât suma patratelor erorilor pentru modelul

extins: $S_1 = \sum_{i=1}^n (Y_{1i} - Y_i)^2$ si suma patratelor

erorilor pentru modelul rafinat:

$S_2 = \sum_{i=1}^p (Y_{2i} - Y_i)^2$ sa nu difere semnificativ,

unde: Y_{1i} – nivelul calculat al variabilei dependente la momentul i a modelului extins; Y_{2i} – nivelul calculat al variabilei dependente la momentul i a modelului rafinat; Y_i – nivelul efectiv al variabilei dependente la momentul i ;

Pentru rafinare este folosita analiza factoriala. Principiul este de a lua factorii F_1, F_2, \dots, F_n si de a calcula ponderile cu care acestia participa în model. Experienta arata ca apar si aspecte calitative în ceea ce priveste importanta factorilor. De aceea, trebuie o tratare diferentiata si trebuie construite structuri de modele.

Pasii procesului de rafinare sunt:

Pasul 1: Se genereaza modelele cu o singura variabila, de forma $Y_i = ax_i + b$; fiind n modele se calculeaza n sume de forma

$$S_i = \sum_{j=1}^k (Y_{ij} - Y_j)^2, \text{ unde } k \text{ este numarul de}$$

momente de timp, reprezentând lungimea seriei de date. Se ordoneaza aceste sume si se aleg dintre ele acelea cu valorile cele mai mici. Se compara cu suma S obtinuta pentru modelul cu n variabile si se utilizeaza testul de egalitate a dispersiilor.

Pasul 2: Se genereaza modelele cu doua variabile, de forma $Y_{ij} = ax_i + bx_j + c$; sunt C_n^2 modele si se calculeaza tot atâtea sume

$$S_i = \sum_{j=1}^k (Y_{ij} - Y_j)^2, \text{ } k \text{ este de asemenea numarul de momente de timp.}$$

În mod asemanator se ordoneaza aceste sume si se aleg dintre ele acelea cu valorile cele mai mici.

Pasul 3: Procedura continua pâna la modelele cu $n-1$ variabile.

Pe cale experimentala se stabileste numarul p al variabilelor modelului rafinat. În modelele liniare comutativitatea factorilor determina lucrul cu combinari.

Fie S suma patratelor erorilor pentru modelul extins cu n variabile si M_1 modelul care are toti cei n factori. Se construiesc C_n^{n-1} modele cu $n-1$ factori: $M_{11}, M_{12}, \dots, M_{1n}$. Se calculeaza si sumele corespunzatoare acestor modele, obtinându-se $S_{11}, S_{12}, \dots, S_{1n}$. Se compara sumele rezultate cu S si rezulta ca pot fi retinute un numar de q_1 modele care au dispersiile identice. Procesul se repeta pentru $n-2$ factori, $n-3$ factori, ..., $n-k$ factori. Daca pentru $n-k-1$ factori nici una dintre sume nu respecta criteriul, atunci rezulta ca procesul de rafinare sa încheiat si numarul de modele obtinute prin rafinare este

$$q = \sum_{i=1}^{n-k} q_i.$$

Pentru implementarea algoritmului se construiesc:

- o matrice X cu n coloane corespunzatoare celor n factori si k linii corespunzatoare momentelor de timp pentru care s-au facut înregistrările;
- un vector Y cu k componente, corespunzatoare datelor înregistrate pentru variabila dependentă;
- un vector A cu n+1 componente reprezentând coeficientii care se vor estima pentru cei n factori si termenul liber;
- o procedura care are ca parametri X, Y, A si S; prin utilizarea metodei celor mai mici patrate se obtin valorile din A; în S se memoreaza suma patratelor de diferente dintre Y si Y calculat.
- o procedura pentru obtinerea matricei X' care are k linii si numar variabil de coloane initializate, maxim n; procedura primeste ca para-

metri pe X si un vector Z de n componente ale carui elemente au valorile 0 sau 1; scopul este de a copia în X' consecutiv numai coloanele din X pentru care elementele corespunzatoare din Z au valoarea 1; lucrul cu aceste doua proceduri da posibilitatea de a genera combinatiile si de a realiza estimările; pentru varianta initiala toate componentele lui Z sunt 1; pentru modelele cu n1 componente, într-o secventa repetitiva Zi este initializat cu 0 si deci X' în secventa repetitiva respectiva genereaza toate combinatiile.

Se considera modelul: $y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i$ unde

x_i reprezinta variabila asociata factorului Fi. Se construiesc 2ⁿ-1 modele pornind de la modelul liniar cu o singura variabila pâna la modelul liniar cu n variabile (tabelul 4).

Tabelul 4 – Înregistrarea valorilor reale si a estimatiilor modelelor

Valoarea reala	Modelul 1	Modelul 2	...	Modelul k	Modelul 2 ⁿ -1
Y	Y ₁	Y ₂	...	Y _k	Y _{2ⁿ-1}
y ₁	y ₁₁	y ₂₁	...	y _{k1}	y _{2ⁿ-11}
y ₂	y ₁₂	y ₂₂	...	y _{k2}	y _{2ⁿ-12}
...
y _l	y _{1l}	y _{2l}	...	y _{kl}	y _{2ⁿ-1l}
...
y _m	y _{1m}	y _{2m}	...	y _{km}	y _{2ⁿ-1m}

Se calculeaza diferentele dintre valorile obtinute pe baza estimatiilor si valorile reale ale lui y (tabelul 5). Pentru fiecare model în parte se însumeaza diferentele obtinute.

Tabelul 5 – Diferentele dintre estimatii si valorile reale

M ₁	M ₂	...	M _j	...	M _{2ⁿ-1}
(y-y ₁₁) ²	(y-y ₁₁) ²	...	(y-y _{1j}) ²	...	(y-y _{2ⁿ-11}) ²
(y-y ₁₂) ²	(y-y ₁₂) ²	...	(y-y _{1p}) ²	...	(y-y _{2ⁿ-12}) ²
...
(y-y _{1i}) ²	(y-y _{2i}) ²	...	(y-y _{1i}) ²	...	(y-y _{2ⁿ-1i}) ²
...
(y-y _{1i}) ²	(y-y _{2i}) ²	...	(y-y _{1i}) ²	...	(y-y _{2ⁿ-1i}) ²
S ₁	S ₂	...	S _k	...	S _{2ⁿ-1}

Se ordoneaza sumele patratelor erorilor de la S_{min} la S_{max}. Se determina ratia r ca fiind raportul: $r = \frac{S_{max} - S_{min}}{u}$ unde u se alege în functie de nivelul de precizie dorit. Pe baza ratiei r, sunt selectate modelele care au suma patratelor erorilor mai mica decât r.

Stabilitatea modelelor liniare

Stabilitatea modelelor are în vedere compor-

tamentul modelelor pe esantioane diferite. Se considera q esantioane de date referitoare la aceleasi caracteristici. Se construiesc q tabele de forma tabelului 6. În tabel, Y reprezinta costurile efective ale testării, M valorile evaluate ale costului testării si S sunt diferentele indicate la patrat dintre valorile evaluate si valorile efective ale costului testării.

Tabelul 6 – Centralizarea caracteristicilor si modelelor pentru un esantion

Y	M ₁	M ₂	...	M _m	S ₁	S ₂	...	S _m
y ₁								
y ₂								
...								
y _m								

Prin ordonarea crescatoare a sumelor, fiecarui model i se va asocia un rang pentru fiecare esantion în parte. Centralizând rangurile obtinute pentru toate esantioanele se construiesc matricea rangurilor (tabelul 7).

Tabelul 7 – Matricea rangurilor

	Esantion 1	Esantion 2	...	Esantion j	...	Esantion q
S ₁	r ₁₁	r ₁₂	...	r _{1j}	...	r _{1q}
S ₂	r ₂₁	r ₂₂	...	r _{2j}	...	r _{2q}
...
S _i	r _{i1}	r _{i2}	...	r _{ij}	...	r _{iq}
...
S _m	r _{m1}	r _{m2}	...	r _{mj}	...	r _{mq}

Stabilitatea modelelor se determina utilizând una din urmatoarele variante luate în considerare.

Varianta v₁: se aleg primele p ranguri din fiecare esantion. Rezulta q multimii a câte p modele. Se efectueaza intersectia celor q multimii de modele: $MS = MM_1 \cap MM_2 \cap \dots \cap MM_q$.

Multimea MS obtinuta contine modelele de evaluare care au stabilitatea cea mai ridicata.

Varianta v₂: se calculeaza suma rangurilor pentru fiecare model în parte din matricea rangurilor:

$SR_i = \sum_{j=1}^q r_{ij}$. Se ordoneaza crescator dupa sumele SR_i obtinute. Se retin primele p modele considerate a fi stabile.

Varianta v₃: se calculeaza raportul dintre suma rangurilor si numarul de esantioane:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^q r_{ij}}{q \cdot m}$$

media rangurilor este mai mica decât valoarea medie obtinuta (\bar{R}). Modul în care este ales numarul p depinde de mai multi factori si de specificul modelelor si a conditiilor în care au fost realizate evaluarile si sa efectuat culegerea datelor. Se obtine un grup de modele si în faza de analiza se alege unul. Periodic se procedeaza la extinderea coeficientilor pentru a încorpora modificarile influentei factorilor. În

mod asemanator se determina stabilitatea modelelor obtinute prin rafinare, prin eliminarea de variabile.

Concluzii

Analiza modelelor liniare de evaluare a costului testarii software este un proces laborios, care necesita existenta unor serii mari de date culese în timpul testarii aplicatiilor software. Cu cât dimensiunea seriilor de date culese este mai mare, cu atât calitatea analizelor efectuate este mai ridicata.

Bibliografie

[IVAN97] Ivan, Ion, Senioros, Panagiotis, Popescu, Mihai, Simion, Felix – *Metrici Software*, Editura INFOREC, Bucuresti, 1997

[IVAN99] Ivan, Ion, Nosca, Gh., Tcaciuc, Sebastian, Pârlog, Otilia, Caciula, Razvan – *Calitatea datelor*, Editura Inforec, Bucuresti 1999

[FENT96] Fenton, Norman E., Pflieger, Shari Lawrence – *Software Metrics, A Practical and Rigorous Approach*, International Thomson Computer Press, 1996

[PECI02] Pecican, Eugen, Tanasoiu, Ovidiu, Iacob Andreea – *Modele econometrice*, Biblioteca Virtuala ASE, 2002

[POCA03] Pocatilu, Paul– "Modele neliniare de evaluare a costului testarii software – NCPTS", în *Informatica Economica*, vol. VII, nr. 1(25), 2003, pp. 51-54

[POCA03a] Pocatilu, Paul – "Utilizarea modelelor unifactoriale în evaluarea costului testarii software", în *Informatica Economica*, vol. VII, nr. 2(26), 2003, pp. 97-99

[PRES00] Pressman, Roger S. – *Software Engineering – A Practitioner’s Approach, European Adaptation Fifth Edition*, McGraw-Hill, 2000

[KAPE01] Kapenekas G., An Algorithm to Improve Query Evaluation Efficiency in Parallel Systems, in *INFORMATION SOCIETY*, The Proceedings of the 5th International Symposium on Economic Informatics MAY 2001 Organized by Academy of Economic Studies (Bucharest), Faculty of Economic Cybernetics, Statistics and Informatics