

Estimarea efortului dezvoltării de software cu modelul COCOMO II

Ec. Otilia PÂRLOG, ing. Gheorghe NOȘCA

Ministerul Apărării Naționale

Prep. Petrișor OPREA

Catedra de Informatică Economică, A.S.E., București

În ecuația productivității muncii apare ca termen al fracției, efortul depus pentru obținerea produsului final. În activitatea de dezvoltare software estimarea efortului depus implică anumite particularități. De aceea, în ultimul deceniu au fost realizate mai multe modele pentru cuantificarea efortului.

Cuvinte cheie: efort, productivitate, estimare, linii sursă.

1. Introducere

Modelul COCOMO II este un model on-line simplu care are drept scop determinarea numărului de luni-persoană necesar pentru dezvoltarea de software, estimarea planului de dezvoltare, precum și repartizarea efortului și planului pe fazele principale ale procesului de dezvoltare software.

El este bazat pe Modelul de Interpretare a Costurilor, COCOMO (Constructive Cost Model), al lui Barry Boehm, care este aplicabil la marea majoritate a proiectelor software. Estimarea în general și primul model elaborat în acest sens de către Barry Boehm, COCOMO 81, au făcut obiectul unei prezentări detaliate în [1], în care se definește modelul: "Basic COCOMO este bun pentru determinarea aproximativă a estimărilor privind nivelul costurilor software, dar acuratețea sa este strict limitată datorită lipsei factorilor necesari pentru a justifica dezacordurile generate de limitele hardware, calitatea și experiența personalului, utilizarea uneltelor și tehnicilor moderne și de alte caracteristici ale proiectului cunoscute a avea o influență semnificativă asupra costurilor".

Modelul a cunoscut îmbunătățiri succesive materializate prin modelul inițial, COCOMO 81 v.1.0 și modelul actual, COCOMO II.1997.0, variantele intermediare fiind COCOMO 81 v. 1.1, COCOMO 81 v. 10.0 și COCOMO 2.0 v. 2.0.5.

2. Prezentare generală

Modelul COCOMO (figura 1) estimează costul și planul de dezvoltare și întreținere software și realizează distribuția acestora pe fazele și activitățile proiectării software, pornind de la o estimare inițială a dimensiunii produsului, definirea unor atribute referitoare la produsul ce urmează a fi elaborat, instrumente software, caracteristicile hardware și de personal implicate, precum și de la o serie de parametri ai căror destinație este cuantificarea influenței reutilizării software, întreținerii și dezvoltării acestuia [2]. Pentru efectuarea estimărilor de planificare bugetară și a planului unui proiect de dezvoltare software a fost elaborat produsul COCOMO, care este un pachet de programe interactiv orientat pe ferestre, având drept suport modelul COCOMO II. Un manager de proiect software poate defini un model sau modele multiple de proiect pe care să le utilizeze apoi în programul COCOMO în scopul identificării problemelor potențiale referitoare la resursele de personal, software, hardware, fonduri sau programe de lucru, atât înaintea declanșării dezvoltării de software, cât și după definitivarea acestuia. Variantele multiple de proiect la care se poate recurge au drept rezultat stabilirea unui plan general cu care să se starteze proiectarea software la care se aduc apoi îmbunătățiri succesive pe măsură ce parametrii de stare ai proiectului primesc valori noi.

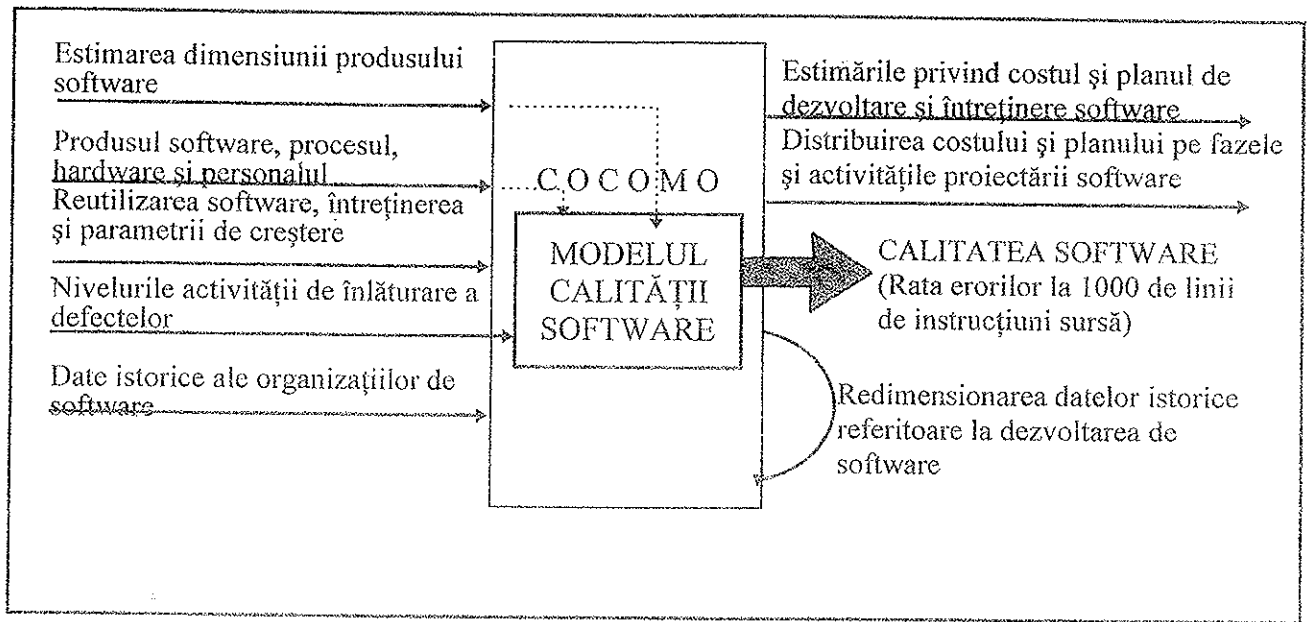


Fig. 1. Structura generală a modelului COCOMO

3. Ecuația de estimare a efortului

În [1] estimarea efortului se determină cu următoarea ecuație:

$$PM = \prod_{i=1}^{16} (EM_i) \cdot A \cdot \left[\left(1 + \frac{BRAK}{100} \right) \cdot SIZE \right]^{(0.91+0.01 \cdot \sum_{j=1}^3 SF_j)} + \left(\frac{ASLOC \cdot \left(\frac{AT}{100} \right)}{ATPROD} \right) \quad (1)$$

În afara lui "A", care reprezintă o constantă, celelalte simboluri din formula (1) aparțin uneia din următoarele categorii:

- date referitoare la produsul informatic;
- date referitoare la platforma dezvoltării de software;

- date care caracterizează personalul;
- date de definire a proiectului;
- factori de scală.

Tabelul 1 descrie succint simbolurile din ecuația (1).

Tabelul 1. Definirea simbolurilor din ecuația de estimare a efortului

Simbol	Semnificație
PM	Estimarea efortului de dezvoltare software în luni-persoană.
EM _i	Multiplicatori de efort.
A	Constantă.
BRAK	Procentajul de cod sursă irosit datorită schimbărilor intervenite din diverse cauze.
SIZE	Valoarea prognozată pentru dimensiunea viitoare a proiectului exprimată în număr de instrucțiuni sursă.
SF _j	Factori de evaluare.
ASLOC	Mărimea componentei adaptate exprimate în mii de linii sursă.
AT	Procentajul componentelor care sunt translatate în mod automat.
ATPROD	Productivitatea înregistrată în translatarea automată de componente de cod sursă.

Ecuația de estimare a efortului cuprinde și variabila SIZE, definită ca valoarea prognozată pentru dimensiunea viitoare a proiectului.

La rândul ei aceasta se stabilește prin intermediul ecuației:

$$SIZE = NSLOC + \left[ASLOC \cdot \left(\frac{100 - AT}{100} \right) \cdot \frac{(AA + SU + 0.4DM + 0.3CM + 0.3IM)}{100} \right] \quad (2)$$

Tabelul 2 descrie simbolurile din ecuația (2).

Tabelul 2. Definierea simbolurilor din ecuația estimării dimensiunii proiectului

Simbol	Semnificație
NSLOC	Mărimea componentei noi a codului sursă (mii linii sursă).
ASLOC	Mărimea codului sursă adaptat (mii linii sursă).
AT	Procentul de cod sursă translatat în mod automat (mii linii sursă).
AA	Evaluare și asimilare (exprimat procentual).
SU	Înțelegerea codului sursă (exprimat procentual); SU=0 dacă DM=0 și CM=0.
DM	Gradul de modificare a proiectării (exprimat procentual).
CM	Codul modificat (exprimat procentual).
IM	Procentul intervenției asupra integrării și testării.

4. Factorii de evaluare

Observăm că în formula (1) există o expresie folosită drept exponent, asimilată uzual cu simbolul B, iar modul de definiere duce la cuantificarea influenței factorilor de evaluare.

Ecuația (3) definește exponentul B din (1).

$$B = 1.01 + 0,01 \cdot \sum_{j=1}^5 SF_j \quad (3)$$

Semnificația factorilor de evaluare este dată în tabelul 3.

Tabelul 3. Factorii de evaluare pentru COCOMO II

Factorul de evaluare	Semnificație
PREC	Experiența deținută în dezvoltarea unor proiecte asemănătoare.
FLEX	Gradul de rigurozitate impus.
RESC	Gradul de interferență cu modulele proiectului.
TEAM	Gradul de coeziune al echipei.
PMAT	Ponderea răspunsurilor afirmative la chestionarul CMM Maturity.

Tabelul 4 furnizează nivelurile de evaluare pentru grila de efort COCOMO II. Selectarea din grila de efort este bazată pe raționamentul că există o sursă semnificativă a variației exponențiale a efortului realizare a unui proiect sau variația productivității. Fiecare scală de efort are un nivel de evaluare de la "Very Low" până la "Extra High". Fiecărui nivel al scalei de evaluare îi corespunde o pondere, W, iar valoarea specificată a acesteia este numită factor de evaluare, SF.

Factorul de evaluare a unui proiect însumează toți factorii SF și folosește la determinarea exponentului de scală, B, cu ajutorul ecuației (3).

Scara valorică de cuantificare corespunzătoare grilei de evaluare aparține [0,5], valoarea 5 fiind atașată nivelului "Very low", diminuându-se cu câte o unitate la trecerea în nivelul următor, astfel încât pentru nivelul superior, "Extra high", se obține valoarea 0.

Tabelul 4. Nivelurile factorilor de evaluare pentru COCOMO II

Factorii de evaluare (W)	Nivelurile de cuantificare a factorilor					
	Very low	Low	Nominal	High	Very high	Extra high
PREC	-complet fără experiență	-fără experiență largă	-fără experiență	-în general cunoscut	-cunoaștere largă	-complet cunoscut
FLEX	-riguros	-cu rigurozitate scăzută	-unele exigențe scăzute	-în general conformist	-câteva conformități	-obiective generale
RESL ^a	-puține (20%)	-câteva (40%)	-adesea (60%)	-în general (75%)	-majoritatea (90%)	-complet (100%)
TEAM	-interacțiuni foarte dificile	-câteva interacțiuni dificile	-în general interacțiuni de cooperare	-cooperare largă	-cooperare ridicată	-coeziune totală
PMAT	Media răspunsurilor afirmative la chestionarul CMM Maturity					

a. procent semnificativ al modulelor de interfață specificate.

Pentru a exemplifica influența factorilor de evaluare asupra efortului de dezvoltare software se definește efortul relativ de proiectare, E, astfel:

$$E = SIZE^B * PM \quad (4)$$

Fie un proiect pentru care SIZE = 100.

Pentru situația ideală, atunci când factorii de evaluare sunt la nivelul "Extra high", valoarea acestora este 0, deci B=1,01, iar efortul relativ $E=100^{1.01} * PM=105 PM$.

Dacă, din contră, toți factorii de evaluare se situează la limita inferioară "Very low", atunci $B=1,01+0,25=1,26$, iar efortul relativ $E=100^{1.26} * PM = 331 PM$. Aceasta reprezintă o variație mare, dar creșterea implicată de

schimbarea cu o unitate a unui factor este de numai aproximativ 4,7%.

5. Factorii de adaptare

COCOMO este capabil să estimeze costul și planul nu numai pentru un produs software început de la zero, ci și pentru produse care sunt construite pe un produs deja existent. Adaptarea de cod utilizează un set adițional de ecuații care sunt folosite pentru a calcula numărul final de linii sursă, costul relativ și planificarea. Tabelul 5 descrie variabilele din ecuațiile referitoare la adaptarea codului sursă.

Tabelul 5. Factorii de adaptare pentru COCOMO II

Simbol	Semnificație	Descriere
ASLOC	Mărimea componentei adaptate a codului sursă.	Numărul de linii sursă ale codului adaptate de la produsul software existent, folosite în dezvoltarea noului proiect (mii de linii sursă adaptate).
DM	Procentul de modificare a proiectului.	Procentul descrierilor adaptate care suportă modificări pentru a se potrivi la obiectivele și mediul noului produs.
CM	Procentul de cod modificat.	Procentul codului adaptat care se modifică pentru a se potrivi la obiectivele și mediul noului produs.
IM	Procentul intervenției asupra integrării și testării.	Procentul efortului necesar pentru integrarea și testarea produsului adaptat.
SU	Procentul înțelegerii codului reutilizabil.	Procentul efortului depus pentru înțelegerea codului sursă în vederea reutilizării acestuia în noul produs.
AA	Procentul evaluării și asimilării.	Procentul efortului pentru asimilarea și evaluarea codului sursă în vederea reutilizării acestuia.

6. Multiplicatorii de efort

Există un număr de factori care influențează timpul și efortul dezvoltării unui proiect. Productivitatea dezvoltării de software este determinată de atributele produsului, platformei, personalului și proiectului. Totalitatea variabilelor care înglobează aceste influențe

formează multiplicatorii de efort ai modelului COCOMO II și sunt înglobate în ecuația de estimare a efortului cu simbolul EM_i , unde $i = 1+16$. Atributele de produs se referă la constrângerile și cerințele impuse proiectului care urmează a fi dezvoltat (tabelul 6.1).

Tabelul 6.1. Atributele de produs pentru COCOMO II

Simbol	Semnificație
RELY	Fiabilitatea software cerută.
DATA	Mărimea bazei de date.
DOCU	Documentația adecvată proiectului pentru întreaga durată a dezvoltării sale.
CPLX	Complexitatea produsului.
RUSE	Gradul de reutilizare cerut.

Atributele de platformă se referă la restricțiile impuse de sistemul hardware și sistemul de operare existente, care au

influență asupra efortului de dezvoltare implicat (tabelul 6.2.)

Tabelul 6.2. Atributele de platformă pentru COCOMO II

Simbol	Semnificație
TIME	Limitarea timpului de execuție.
STOR	Restricții de memorie.
PVOL	Volatilitatea platformei hardware.

Atributele de personal se referă la nivelul de îndemânare pe care îl posedă personalul, caracterizat prin abilități profesionale generale, abilități de programare, experiența

deținută cu mediul de dezvoltare și familiaritatea cu domeniul proiectului (tabelul 6.3).

Tabelul 6.3. Atributele de personal pentru COCOMO II

Simbol	Semnificație
ACAP	Capacitatea de analiză.
AEXP	Experiența în domeniul aplicației vizate.
PCAP	Capacitatea de programare.
PEXP	Experiența cu platforma hard.
LEXP	Experiența cu limbajul de programare utilizat.
PCON	Continuitatea personalului

Atributele proiectului se referă la constrângerile și condiționările care apar la realizarea

proiectului (tabelul 6.4.).

Tabelul 6.4. Atributele de proiect pentru COCOMO II

Simbol	Semnificație
TOOL	Utilizarea instrumentelor software.
SITE	Dezvoltarea "multisite"

Cei 16 factori sunt încorporați în calcularea și estimarea efortului și a planului. Fiecare dintre factori este asociat un număr de 6 niveluri: very low, low, nominal, high, very high și extra high. Fiecare nivel are corespunzător un număr real bazat pe gradul în care factorul respectiv poate influența productivitatea.

O valoare subunitară a unui factor denotă influența asupra planificării proiectului și efortului, în sensul descreșterii acestuia, în timp ce o rată egală cu 1 corespunde nivelului "nominal" și nu duce la mărirea sau micșorarea planului sau efortului.

Multiplicatorii sunt încorporați în formulele de estimare a efortului și planului prin produsul lor. Valoarea nominală a unui factor de ajustare i este notată EM_i , iar produsul factorilor este numit factor de ajustare, EAF.

$$EAF = \prod_{i=1}^{16} EM_i \quad (5)$$

7. Definierea liniei de cod

Definierea unei linii sursă a programului este dificilă datorită diferențelor conceptuale implicate pentru contorizarea instrucțiunilor executabile și declarațiilor de date în diferite limbaje de programare. Scopul este de a măsura munca intelectuală consumată pentru dezvoltarea de programe, dar apar dificultăți atunci când încercăm să definim măsuri consistente care să acopere diferite limbaje de programare. Pierderile datorate reformulărilor cerințelor produsului de asemenea complică dimensiunea.

Pentru a minimiza aceste probleme, Software Engineering Institute (SEI) a elaborat o listă de control prin care instrucțiunea logică sursă este utilizată pentru a defini linia de cod. Această listă reprezintă o parte a unui sistem de liste de control. Lista de control stabilește criteriile de evaluare pentru determinarea numărului de instrucțiuni sursă:

- conținutul liniei sursă;
- modul de generare al liniei sursă;

- originea liniei sursă.

După criteriul *conținutului liniei sursă* sunt contorizate liniile sursă care conțin:

- instrucțiuni executabile;
- instrucțiuni neexecutabile, în care sunt incluse declarațiile și directivele de compilare. Sunt excluse în totalitate comentariile, indiferent de modul de prezentare al acestora: pe linii proprii de comentariu, pe liniile codului sursă, mărci și spații non-blank, comentarii blank (empty) sau linii blank.

În conformitate cu criteriul *modului de generare al liniei sursă* sunt incluse următoarele categorii de cod sursă: programat, convertit cu translatorul automat, copiat sau reutilizat fără schimbare, modificat. Sunt excluse liniile sursă generate cu generatoarele de cod.

Criteriul privind *originea liniei sursă* stabilește includerea liniilor sursă care sunt rezultatul unei munci noi, fără precedentă, sau al unei munci anterioare materializate printr-o versiune anterioară, care este preluată și adaptată la noile cerințe impuse de produsul software. Se exclud din definiție: software comercial, software asigurat de guvern, bibliotecile suport de limbaj furnizate de vânzător (nemodificate), sistemele de operare furnizate de vânzător sau utilizator (nemodificate), alte biblioteci comerciale.

Concluzii

COCOMO II reprezintă un instrument complex cu ajutorul căruia se apreciază costurile implicate de dezvoltarea de software atât într-o fază incipientă, apriori declanșării efortului de proiectare, cât și pe timpul derulării acesteia.

Programul COCOMO permite construirea de scenarii multiple ale proiectării, iar prin analiza datelor furnizate astfel se poate

dimensiona corect mijloacele implicate în dezvoltarea de software, astfel încât să fie create condițiile optime pentru încadrarea în termenele impuse.

Flexibilitatea modelului permite compararea de produse software realizate cu limbaje de programare diferite și pe platforme hardware diverse. Dezvoltarea de software reprezintă un sistem tehnic complex. Din acest punct de vedere rezultatele obținute cu COCOMO II trebuie să reprezinte intrările în analiza microsistemului simulat al mecanismului dezvoltării de software.

Bibliografie

1. B. Boehm - "Software Engineering Economics", Prentice Hall, 1981
2. B. Boehm - "Software Risk Management", IEEE Computers Society Press, 1989
3. I. Ivan, P. Oprea - "Particularități ale evaluării productivității muncii în activitatea de programare", Revista Română de Statistica, nr. 11, 1996
4. I. Ivan, A. Balog, S. Coman - "Aspecte ale productivității muncii în activitatea de programare", Buletinul Român de Informatică, nr. 6, 1981
5. P. Oprea - "Modeling labour productivity in software development activity", Proceedings of student's research in Economic Informatics, Bucharest 1997
6. O. Pârlog, Ghe. Nosca - "Software Quality Cost Structure", The Proceedings of the 3rd International Symposium of Economic Informatics, Bucharest, Mai 1997
7. G. Richardson - *Feedback Thought in Social Science and Systems Theory*, University of Pennsylvania Press, Philadelphia, 1991.