

SIMNON-SIMULATOR PENTRU SISTEME CONTINUE ȘI DISCRETE

Ing. Marina MEILĂ-PREDOVICIU

Institutul Politehnic București

"Un desen bun face cât o mie de cuvinte"

NAPOLEON

Ați dori să cunoașteți răspunsul sistemului:

$$y(k+1) = \frac{\cos(3u(k) + \exp(y(k-1) - u(k-1)))}{(5y(k) - y(k-2))} \quad (1.1)$$

la intrarea

$$u(k+1) = 2 + u(k-1)\sin(u(k)) \quad ? \quad (1.2)$$

Sau traiectoriile în planul fazelor pentru ecuația:

$$\frac{d^2y}{dt^2} + a \frac{dy}{dt} + by(t) = 0 \quad ? \quad (1.3)$$

Sau evoluția comenzii și a ieșirii pentru o instalație tehnologică dotată cu un sistem de reglare?

Răspunsurile la primele două întrebări sînt ilustrate în figurile 1.1 și 1.2, iar la a treia ca și la multe altele veți putea răspunde singuri folosind SIMNON, un program pentru simularea sistemelor discrete și continue, dezvoltat de profesorii și studenții Institutului Politehnic din Lund, Suedia. El lucrează pe calculatoare personale sub sistemul de operare MS-DOS.

SIMNON permite:

- rezolvarea de ecuații cu diferențe;
- rezolvarea de ecuații diferențiale ordinare;
- simularea sistemelor dinamice interconectate.

Astfel de modele se întîlnesc în matematici, economic, biologie și în numeroase discipline tehnice. Utilizarea SIMNON nu necesită decât un minim de cunoștințe în domeniul tehnicii de calcul și, firește, familiarizarea cu noțiunile de bază din teoria ecuațiilor diferențiale și teoria sistemelor.

Implementarea interactivă ușurează controlul operatorului asupra sistemului. Acesta se face prin introducerea unor comenzi de la tastatură. Rezultatele sînt afișate pe ecranul monitorului sub formă de grafice sau sînt păstrate sub forma numerică. Descrierile sistemelor, parametrii și condițiile inițiale pot fi modificate interactiv. De asemenea, mărimile de afișat ca și aspectul grafic pot fi specificate conform necesităților. Operațiile de bază sînt definite printr-un set de numai 6 comenzi la care se adaugă circa 40 auxiliare. Setul de comenzi poate fi încă extins prin crearea de proceduri utilizator.

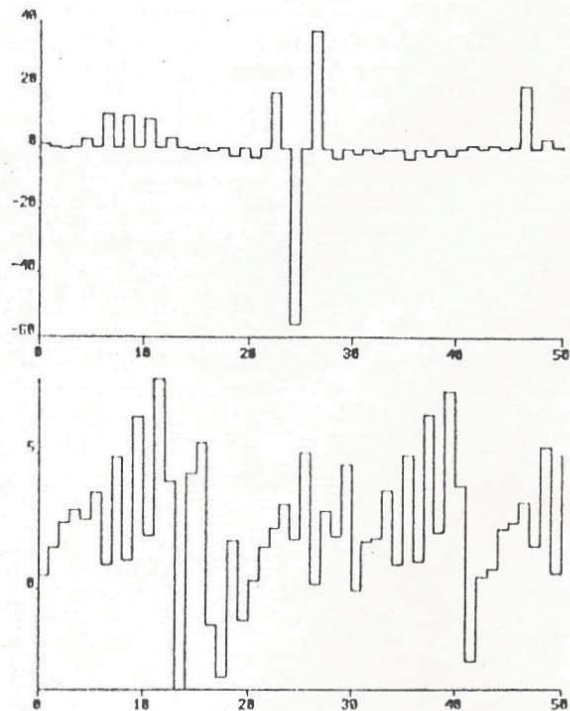


Fig. 1.1. Evoluția stării $x(t)$ (a) și a comenzii $u(t)$ (b) pentru sistemul discret descris de (1.1).

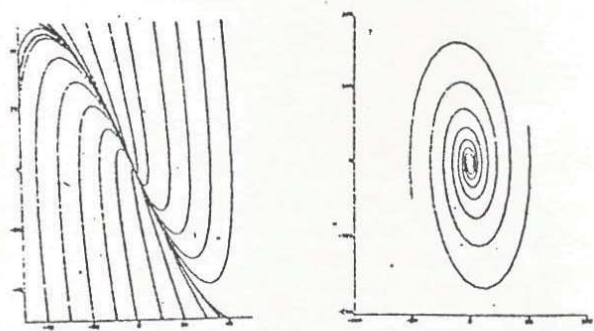


Fig. 1.2 Traiectoriile în spațiul fazelor pentru ecuația diferențială:

$$\frac{dx^2}{dt^2} + a \frac{dx}{dt} + b = 0 \text{ pentru}$$

(a) $a=5$ $b=6$ (b) $a=1$ $b=15$

1. Funcții și concepte fundamentale

1.1. Clase de operații

Principalele etape ale studiului unui sistem^{*} folosind SIMNON sînt:

1) Descrierea sistemului în limbajul de descriere SIMNON.

Descrierea conține specificarea *variabilelor de stare*, de *intrare* și de *ieșire* ale sistemului, precum și ecuațiile lor de evoluție și relațiile dintre ele. Aceste relații pot include *funcții matematice uzuale* și *parametri*.

Descrierile sistemelor sînt păstrate în fișiere. Ele pot fi create și modificate cu un editor de texte încorporat.

2) Simularea propriu-zisă.

Aceasta constă în rezolvarea numerică a ecuațiilor de stare pe un interval de timp dat.

3) Analiza rezultatelor.

În urma simulării sînt calculate valorile variabilelor de interes din sistem în intervalul dat. Aceste valori pot fi afișate sub formă numerică sau grafică bidimensională. Reprezentarea grafică se poate face funcție de timp sau funcție de o altă variabilă. Valorile numerice rămîn la dispoziția SIMNON și eventual a altor programe în fișiere de tip STORE (i.e. specificate prin comanda STORE).

4) Modificarea parametrilor și valorilor inițiale.

Este o necesitate care survine frecvent și se poate efectua lesne în SIMNON. Parametrii și valorile inițiale pot fi salvate în vederea refolosirii în fișiere de tip SAVE (i.e. create de comanda SAVE).

Tactica păstrării descrierilor sistemelor ca și a datelor numerice pe disc are nu numai avantajul de a asigura reluarea lucrului cu un minim de efort din partea operatorului într-o sesiune ulterioară, dar și conectarea SIMNON prin intermediul fișierelor cu alte programe de aplicație ale utilizatorului. Vom vedea mai departe că această tactică a fost extinsă și în cazul funcțiilor utilizator.

1.2. Sintaxa comenzilor

Operațiile descrise mai sus ca și configurarea SIMNON se realizează cu ajutorul a 5 categorii de comenzi ce alcătuiesc limbajul de comandă SIMNON. Sintaxa oricărei comenzi este

<nume comandă> <parametrul 1> <parametrul 2> ...

Parametrii sînt nume de fișiere, de variabile, valori numerice ce indică modul în care să se execute acțiunea specificată prin numele comenzii.

Sintaxa limbajului permite specificarea minimumului necesar de parametri. Atunci cînd un anumit parametru lipsește, sistemul presupune pentru el o valoare setată implicit (eventual ultima valoare introdusă).

De exemplu, comanda

SIMU 0 200 0.5

va simula evoluția sistemului ales între momentele de timp 0 și 200 cu un pas în timp de cel mult 0.5. O nouă comandă

SIMU

(fără parametri) va moșteni parametrii comenzii precedente, deci va executa același lucru.

1.3. Macrocomenzi

Atunci cînd un șir de comenzi e repetat frecvent, (eventual cu parametri modificați) el poate fi înscris într-un fișier, constituindu-se astfel într-o *procedură utilizator*. Procedurile utilizator sînt numite și *macrocomenzi*. Numele fișierului ce conține textul macrocomenzii reprezintă numele acesteia.

Introducerea de la tastatură a numelui unei macrocomenzi în locul unei comenzi determină execuția acesteia. Astfel, macrocomenzile extind limbajul de comandă SIMNON.

În interiorul procedurilor sînt acceptate și alte instrucțiuni în afara comenzilor SIMNON. Acestea se referă în special la efectuarea anumitor operații, în funcție de condițiile din momentul execuției macrocomenzii. Aceste instrucțiuni formează *limbajul macrocomenzilor*.

Parametrii comenzilor dintr-o procedură care sînt modificați de la o execuție la alta trebuie specificați la *apelarea* (lansarea în execuție) a macrocomenzii, așa cum sînt specificați parametrii pentru o comandă obișnuită. În cazul macrocomenzilor, ei poartă numele de *argumente*.

1.4. Variabile

Numele de *variabile* desemnează simbolic anumite valori ce sînt utilizate de SIMNON. În afara variabilelor ce intervin în descrierile sistemelor, SIMNON folosește *variabile de comandă* de două tipuri:

- *variabile locale*, interne macrocomenzilor;
- *variabile globale*, accesibile oricărei (macro) comenzi.

Există cîteva variabile globale predefinite de sistem și utilizate în conjuncție cu anumite comenzi; celelalte variabile se definesc de către utilizator.

* Acolo unde contextul nu va indica altceva, cuvîntul "sistem" va desemna oricare din categoriile: sistem dinamic interconectat, ecuație sau sistem de ecuații diferențiale ordinare, ecuație sau sistem de ecuații cu diferențe.

1.5. Sumarul comenzilor

Prezentăm în continuare sumarul comenzilor, urmînd ca la timpul potrivit să facem descrierea detaliată a fiecăreia.

A. Comenzi pentru simulare

SYST	Activarea unui sistem
STORE	Selectarea variabilelor ale căror valori vor fi memorate în timpul simulării
PLOT	Selectarea variabilelor a căror evoluție va fi reprezentată grafic în timpul simulării
PAR	Schimbarea valorilor parametrilor
INIT	Schimbarea valorilor inițiale pentru variabilele de stare
ERROR	Stabilirea erorii maxime în cazul rezolvării unei ecuații diferențiale
SIMU	Începerea simulării

B. Comenzi pentru intrare/ieșire

DISP	Afișarea valorii unor variabile ale sistemului activ (variabile de simulare)
LIST	Afișarea de fișiere text
PRINT	Afișarea fișierelor de date specificate în STORE
SAVE	Scrierea într-un fișier (salvarea) valorilor de parametri sau a valorilor inițiale ale variabilelor de simulare
GET	Citirea de parametri și valori inițiale dintr-un fișier creat de SAVE
LP	Scrierea la imprimantă a fișierului "cronică" a sesiunii de lucru (în care se înscriu toate comenzile executate), SIMNON.LOG

C. Comenzi grafice

SPLIT	Împărțirea ecranului în zone de afișare
AREA	Selectarea zonei active de afișare
ASHOW	Desenarea autoscalată a variabilelor memorate (cu STORE) într-o nouă diagramă sau afișarea catalogului unui fișier de date
AXES	Definire axe de coordonate
SHOW	Desenarea variabilelor memorate într-o diagramă existentă
TEXT	Etichetarea graficelor în poziții standard
MARK	Afișarea de texte în poziții arbitrare
GIN	Citirea poziției cursorului grafic
HCOPY	Copierea la imprimantă a ecranului grafic

D. Limbajul macrocomenzilor

MACRO	Declararea unei macrocomenzi
LET	Declararea sau atribuirea de valoare unei

FREE	variabile de comandă
DEFAULT	Dealocarea unei variabile de comandă
READ	Atribuirea de valori implicite
WRITE	Citirea unei variabile de la tastatură
WRITE	Afișarea de variabile de comandă și șiruri de caractere
GOTO	Salt necondiționat
IF	Salt condiționat
LABEL	Etichetă (destinație salt)
FOR	Inițierea unei bucle
NEXT	Terminarea unei bucle
END	Sfîrșitul macrocomenzii
SUSPEND	Suspendarea execuției unei macrocomenzi
RESUME	Reluarea execuției unei macrocomenzi suspendate

E. Alte comenzi

EDIT	Apelarea editorului încorporat
HELP	Informații despre SIMNON
SWITCH	Schimbarea contextului general de lucru al programului
TOGGLE	Schimbarea condițiilor generale pentru simulare
STOP	Terminarea SIMNON

1.6. Ce nu se poate simula cu SIMNON

Înainte de a trece la studierea aprofundată a programului, să menționăm câteva domenii apropiate în care SIMNON nu poate fi aplicat:

- ecuații cu derivate parțiale
- analize în domeniul frecvență
- calcul matricial
- identificarea sistemelor
- sisteme continue cu timp mort

2. Descrierea sistemelor de ecuații diferențiale

2.1. Un exemplu

Să presupunem că dorim să rezolvăm ecuația diferențială:

$$T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + 2zT \frac{dy}{dt} + y = u \quad (2.1)$$

* Pentru aceste probleme, a se folosi programul MATLAB

$$\text{pentru } t \geq 0, \quad \begin{cases} u(t) = 1 = \text{ct.} \\ y(0) = 0 \\ \frac{dy}{dt}(0) = 0, \end{cases}$$

a cărei soluție reprezintă răspunsul unui sistem de ordin II la intrare treaptă unitară (v. fig. 2,1). Pentru a descrie sistemul în SIMNON, acesta trebuie adus mai întâi la forma standard:

$$\begin{cases} \frac{dy}{dt} = x & x(0) = 0 \\ \frac{dx}{dt} = (-2zTx - y + u)/T^2 & y(0) = 0 \\ & u = 1 \end{cases} \quad (2.2)$$

Acastă descriere poate fi transcrisă direct în SIMNON:

```

CONTINUOUS SYSTEM sord2 Antet
STATE y x Declarații
DER yd xd
INITIAL Inițializări
y:0
x:0
SORT Atribuirii
yd=x
xd=(-2*z*T*x-y+u)/T/T
z:0.3
T:3
u:1
END

```

2.2. Sintaxa

În general, descrierea unui sistem de ecuații diferențiale conține:

Antetul

CONTINUOUS SYSTEM <nume sistem>
Numele sistemului și orice alt identificator nu trebuie să depășească 8 caractere. Numele fișierului ce conține descrierea sistemului trebuie format din numele sistemului și extensia .t.

Secțiunea declarațiilor

- Variabilele ale căror derivate apar în membrul stâng al ecuațiilor se numesc *variabile de stare*. Ele trebuie declarate ca atare:

STATE <var. stare 1> <var. stare 2> ...

- Fiecare dintre variabilele de stare *i* se asociază o variabilă reprezentând derivata ei. Declarația derivatelor se face imediat după declararea variabilelor:

DER <der. var. stare 1> <der. var. stare 2> ...

Lista de variabile derivate trebuie să conțină tot atâtea elemente ca și cea din declarația STATE; asocierea unei variabile de stare cu o variabilă derivată se face conform poziției în listă.

Sintaxa SIMNON admite orice perechi de declarații STATE - DER. Deci declarațiile din exemplul (2.3) sînt echivalente cu

```
STATE x (2.4)
```

```
DER xd
```

```
STATE y
```

```
DER yd
```

sau cu

```
STATE xy
```

```
DER xd yd (2.5)
```

- Dacă variabila timp apare explicit în ecuațiile din secțiunea de atribuire, ea trebuie declarată:

```
TIME <variabilă timp>
```

- Dacă sistemul descris e conectat cu alte sisteme, atunci mărimile sale de intrare și ieșire trebuie de asemenea declarate:

```
INPUT <var. intrare 1> <var. intrare 2> ...
```

```
OUTPUT <var. ieșire 1> <var. ieșire 2> ...
```

Cu excepția celor spuse mai sus despre perechile STATE - DER, ordinea declarațiilor e arbitrară.

Secțiunea de inițializări

Acastă secțiune este opțională. Ea este delimitată de cuvintele cheie INITIAL ... SORT și poate conține inițializări atât pentru variabilele de stare cît și pentru celelalte variabile (numite *variabile auxiliare*) sub forma

```
< nume variabilă > : < expresie >
```

Secțiunea de atribuirii

Conține atribuirii corespunzînd direct ecuațiilor sistemului de simulat sub forma:

```
< variabilă > = < expresie >
```

pentru: derivatele variabilelor de stare
variabilele de ieșire
variabilele auxiliare

și atribuirii de parametri:

```
< parametru > : < expresie >
```

```
END
```

Acest cuvînt cheie marchează terminarea descrierii.

Comentarii

În orice linie a descrierii, caracterul " anunță că restul liniei reprezintă un comentariu.

Observație: Ordinea atribuirilor e arbitrară, dar ele trebuie să fie consistente, adică pe baza lor să se poată calcula valorile tuturor variabilelor ce apar. De asemenea trebuie detectate *buclele algebrice*, adică situațiile de tipul

```
c = 1
```

```
a = b + c
```

```
b = 2*a - 1
```

(2.6)

în care, deși sistemul este algebric determinat, variabilele *a* și *b* nu pot fi calculate prin înlocuire directă în ecuațiile (2.6), oricare ar fi ordinea acestora.

2.3. Funcții matematice

Funcțiile matematice utilizabile într-o expresie din membrul drept al unei atribuiri sînt:

ABS(x)	Valoarea absolută a lui x
ARCCOS(x)	Arccosinus
ARCSIN(x)	Arcsinus
ATAN(x)	Arctangenta ($-\frac{\pi}{2} < ATAN < \frac{\pi}{2}$)
ATAN2(x,y)	Arctangenta din x/y ($-\pi < ATAN2 < \pi$)
COS(x)	Cosinus (x în radiani)
COSH(x)	Cosinus hiperbolic
EXP(x)	Exponențiala e^x
INT(x)	Partea întregă a lui x
LN(x)	Logaritm natural (x > 0)
LOG(x)	Logaritm zecimal (x > 0)
MAX(x,y)	Maximul dintre x și y
MIN(x,y)	Minimul dintre x și y
MOD(x,y)	Restul împărțirii lui x la y
SIGN(x)	Semnul lui x (-1 dacă x < 0; 1 în caz contrar)
SIN(x)	Sinus (x în radiani)
SINH(x)	Sinus hiperbolic
SQRT(x)	Rădăcina pătrată (x > 0)
TAN(x)	Tangenta (x în radiani)
TANH(x)	Tangenta hiperbolică

2.4. Exemplu de simulare

Pentru a simula efectiv sistemul 2.3 vom urma procedura descrisă în §1.1.

Descrierea sistemului se introduce apelînd editorul de texte încorporat cu comanda

EDIT sord 2

După editare, va fi creat fișierul sord2.t. Pentru a afla comenzile admise de editor ca și pentru alte informații se va folosi comanda HELP cu cele două forme ale sale:

HELP < subiect > informații despre subiectul respectiv

HELP lista tuturor subiectelor pentru care există HELP

Pregătirea simulării

Pentru ca sistemul să fie luat în considerare de SIMNON, el trebuie să fie *activat*.

Ca urmare, fișierul sord2.t este citit și compilat. Eventualele greșeli de sintaxă sau bucle algebrice sînt detectate în această fază.

Următoarele comenzi se vor referi implicit la sistemul activat și la variabilele sale:

STORE y cere reținerea valorilor variabilei y (ieșirea sistemului) în timpul simulării

INIT y:0

INIT x:0

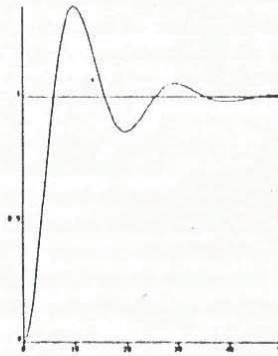


Fig. 2.1 Răspunsul la treapta unitară al unui sistem de ordinul 2 cu $T=3$, $z=0,3$

Inițializări de variabile.

Aici sînt opționale, deoarece au fost făcute în descrierea sistemului; sînt necesare cînd se dorește schimbarea inițializării.

SIMU 0 30 /răspuns

Rezolvarea ecuației diferențiale (*simulare*) pe intervalul de timp $[0,30]$. Datele specificate prin STORE vor fi înscrise în fișierul răspuns .d.

Rezolvarea ecuației se face prin metoda Runge-Kutta de ordinul IV cu pas variabil.

Analiza rezultatelor e constituită în cazul acesta din afișarea sub formă de grafic a răspunsului:

ASHOW y /răspuns

Comanda cere reprezentarea grafică a variabilei y din fișierul răspuns cu scalare automată. Dacă dorim să specificăm anumite dimensiuni ale axelor de coordonate vom introduce (în loc de ASHOW):

AXES v 0 2 h 0 30

SHOW y /răspuns

ceea ce înseamnă afișarea variabilei y din răspuns într-un grafic cu axa verticală gradată între 0 și 2 și axa orizontală gradată între 0 și 30. Răspunsul sistemului va pune în evidență binecunoscutele oscilații amortizate (v. fig. 2.1)

Valorile răspunsului pot fi afișate cu comanda

PRINT răspuns

care afișează conținutul fișierului specificat.

Modificarea valorilor inițiale și a parametrilor se face cu comenzile:

INIT x:-1

pentru valori inițiale și

PAR z:0.9

pentru parametri.

Toate comenzile ce urmează pînă la o nouă comandă SYST se vor referi la sistemul caracterizat de noile valori.