

FORMALIZAREA OPERAȚIILOR PENTRU CONSTRUCȚIA ȘI PRELUCRAREA FORMELOR DE UNDĂ

Ing. Ștefan Stelian Diaconescu

Institutul pentru Tehnică de Calcul ITC-S.A.

Rezumat

Articolul prezintă un set de operații folosite pentru construcția și prelucrarea formelor de undă care modelează fenomene cu o anumită variație în timp. Astfel de operații pot fi introduse ca elemente de bază într-un limbaj destinat sintezei formelor de unde complexe. Sinteza formelor de undă are aplicații în domenii foarte diverse, de la comanda analogică a unor dispozitive la simularea unor fenomene fizice, de la încercările materialelor și construcțiilor la realizarea instrumentelor muzicale.

1. Introducere

Există o gamă largă de fenomene care pot fi descrise prin variația unor parametri în timp. Simularea acestor fenomene se poate face sintetizând funcțiile care descriu evoluția parametrilor respectivi. În materialul de față ne vom ocupa de cazul funcțiilor de forma $u=g(t)$. Reprezentarea (graficul) unei astfel de funcții într-un sistem de coordonate rectangulare (t, o, u) , unde t este timpul, iar u - amplitudinea, o vom numi formă de undă sau, pe scurt, undă [2]. Astfel de unde apar în numeroase domenii teoretice și practice. Crearea unor forme de undă cu un anumit aspect prezintă interes, printre altele, pentru încercarea unor materiale sau dispozitive supuse unor sollicitări variabile [4], simularea funcționării unor echipamente sau instalații acționate prin mărimi cu o anumită evoluție temporală (circuite electrice și electronice de comandă analogică), solicitări de rezistență la undele seismice, studiul unor aspecte fonetice și sinteza vocii [7, 8], expertiza criminalistică a vocii și vorbirii [1], aparatura de captare, înregistrare și redare audio [6] și video, sinteza sunetelor muzicale pentru crearea de instrumente electronice [10] comandate eventual de calculator etc. Construirea (sinteza) unor forme de undă complicate care să descrie semnale reale este dificilă, necesitând ori dispozitive electronice specializate (sintetizatoare electronice), ori calculatoare numerice.

În cazul utilizării calculatoarelor numerice există, în principiu, două metode, în funcție de modul de reprezentare a formelor de undă:

- sinteza bazată pe reprezentarea analitică [12], deci prin formule care conțin sinusoidale, exponențiale etc.; această reprezentare, deși compactă, are dezavantajul că necesită calcule complicate pentru fiecare moment de timp, ceea ce duce la timpi totali de calcul foarte mari;
- sinteza bazată pe reprezentarea de tip MIC [8, 11] (modularea impulsurilor în cod), deci prin succesiuni de

amplitudini la anumite momente de timp; această reprezentare introduce anumite aproximații care pot fi însă făcute satisfăcător de mici și implică la fiecare moment de timp calcule simple, timpul total de calcul fiind astfel mult mai mic decât în cazul reprezentării analitice.

În cele ce urmează se va descrie un set de operații elementare care permit sinteza cu ajutorul calculatorului a unor forme de undă într-o reprezentare de tip MIC.

Pentru aceasta vom considera anumite puncte pe axa timpului t_1, t_2, \dots, t_n și valorile funcției g în aceste puncte (amplitudine): $g(t_1), g(t_2), \dots, g(t_n)$.

Dacă $t_{i+1} - t_i = T$ constant, atunci în acest fel se realizează o eșantionare cu o frecvență $f_e = 1/T$ a unei $u = g(t)$. Dacă $f_e \geq 2f_M$, unde f_M este frecvența maximă din spectrul lui u , atunci, conform teoremei fundamentale a eșantionării, se va considera eșantionarea satisfăcătoare. În general însă nu vom considera $t_{i+1} - t_i$ constant și deci, în acest caz, un eșantion va fi reprezentat atât prin valoarea de amplitudine la un anumit moment t_i , cât și prin intervalul de timp $t_{i+1} - t_i$ pînă la eșantionul următor. Precizăm, de asemenea, că se va lucra cu o anumită cuantizare a timpului și amplitudinii (conform convențiilor MIC) și, ca urmare, se vor folosi exclusiv numere întregi.

2. Definiții de bază

Fie N mulțimea numerelor naturale, Z mulțimea numerelor întregi,

$N^* = N \setminus \{0\}$, iar U mulțimea perechilor de numere:

$$U = \{(a_i, d_i) \mid a_i \in Z, d_i \in N\}.$$

Vom numi (a_i, d_i) eșantion, a_i amplitudine, d_i durată.

O undă eșantionată sau, pe scurt, o undă este o aplicație $u: \{1, 2, \dots, n\} \rightarrow U$.

Aplicația u se notează:

$$u = (a_1, d_1)(a_2, d_2) \dots (a_n, d_n).$$

Durata unei unde u se notează $d(u)$ și este:

$$d(u) = \sum_{i=1}^n d_i$$

Se notează U^* mulțimea undelor definite pe U .

Pe mulțimea U^* vom defini operația asociativă de concatenare, după cum urmează:

Fie $u' = (a'_1, d'_1)(a'_2, d'_2) \dots (a'_n, d'_n)$

$$u'' = (a_1, d_1)(a_2, d_2) \dots (a_n, d_n).$$

Atunci $u' \cdot u''$ este o undă u

$$u = (a_1, d_1)(a_2, d_2) \dots (a_n, d_n),$$

unde:

$$n = n' + n''$$

$$a_i = \begin{cases} a'_i & 1 \leq i \leq n' \\ a_{i-n'} & n' < i \leq n' + n'' \end{cases}$$

$$d_i = \begin{cases} d_i & 1 \leq i \leq n \\ d_{i-n'} & n' < i \leq n' + n \end{cases}$$

Oricare ar fi $u', u'' \in U$ avem:

$$d(u' \cdot u'') = d(u') + d(u'')$$

U^* dotat cu operația concatenare este un semigrup liber generat de U .

Definim elementul neutru "e" la operația de concatenare:

$$e = (a, 0).$$

Deci "e" este un eșantion de durată nulă:

$$d(e) = 0.$$

Avem, oricare ar fi $u \in U$:

$$e \cdot u = u \cdot e = u$$

Deoarece amplitudinea lui e nu contează, va fi considerată, în general, nulă:

$$e = (0, 0).$$

Vom lucra în continuare cu unde exprimate prin concatenarea unor eșantioane notate:

$$u = (a_1, d_1) \cdot (a_2, d_2) \cdot \dots \cdot (a_n, d_n) = \bullet_{i=1}^n (a_i, d_i).$$

Începutul unui eșantion i al unde u este:

$$b(i, u) = \begin{cases} 0 & i=1 \\ \sum_{j=1}^{i-1} d_j & 1 < i \leq n' \end{cases}$$

Prezența unui element neutru la operația de concatenare în expresia unei unde reprezentate ca o succesiune de concatenări va fi numită singularitate.

O undă $u = \bullet_{i=1}^n (a_i, d_i)$ este deci fără singularități dacă $d_i \neq 0$, pentru orice $1 \leq i \leq n$.

Se spune că o undă u este singulară dacă $d(u) = 0$.

Amplitudinea instantanee a unei unde u la momentul $t \leq d(u)$ este definită de:

$$v(u, t) = \begin{cases} 0, & \text{dacă } u \text{ e singular} \\ a_i, & \text{dacă } u \text{ e nesingular} \end{cases}$$

unde i este astfel încît:

$$b(i, u) < t$$

și nu există $j > i$ astfel că:

$$b(i, u) < b(j, u) < t,$$

fără a se lua în considerare eventualele singularități ($d_i \neq 0$).

Două unde u și u' sînt egale $u = u'$ dacă:

$$d(u) = d(u')$$

$$v(u, t) = v(u', t)$$

pentru orice $t, 0 < t \leq d(u)$.

O undă $u = \bullet_{i=1}^n (a_i, d_i)$ este compactă dacă $n=1$ sau dacă

$n > 1$, u este fără singularități și $a_i \neq a_{i+1}, 1 \leq i < n$.

Oricare ar fi u , există o undă u' compactă, egală cu u . Compactarea unei u se face prin eliminarea singularităților și înlocuirea eșantioanelor vecine de amplitudine egală cu un eșantion de aceeași amplitudine și de durată egală cu suma duratelor eșantioanelor respective.

O undă $u = \bullet_{i=1}^n (a_i, d_i)$ este expandată dacă $d_i = 1$ pentru

orice $1 \leq i \leq n$.

Oricare ar fi u , există o undă u' expandată egală cu u . Expandarea unei u se face prin eliminarea singularităților și înlocuirea oricărui eșantion care are $d_i > 1$ prin d_i eșantioane de durată 1.

În prezentarea operațiilor cu unde de mai jos se vor folosi notațiile u, u', u'', u''' pentru o serie de unde din U :

$$u = \bullet_{i=1}^n (a_i, d_i), \quad u' = \bullet_{i=1}^{n'} (a_i', d_i'), \quad u'' = \bullet_{i=1}^{n''} (a_i'', d_i''), \\ u''' = \bullet_{i=1}^{n'''} (a_i''', d_i''').$$

3. Operații cu unde

În cele ce urmează vom defini următoarele operații cu unde: compunerea, compunerea tăiată după stînga, compunerea tăiată după dreapta, amplificarea, multiplicarea undă-scalar, multiplicarea scalar-undă, scăderea undelor, dilatarea, dilatarea cu interpolare, modularea, extracția, defazajul, filtrarea.

a. Compunerea este o aplicație $\& : U \times U \rightarrow U$, notată cu $u = \&(u', u'')$, unde:

- dacă $u' = e$, atunci $u = u''$;
- dacă $u'' = e$, atunci $u = u'$;
- dacă $u' \neq e, u'' \neq e$ se consideră u', u'' compacte (dacă nu sînt, se compactează mai întîi).

Pe urmă:

- dacă $d(u') = d(u'') = d$, atunci:

$$v(u, t) = v(u', t) + v(u'', t), \quad 0 < t \leq d,$$

- dacă $d(u') < d(u'')$, atunci:

$$v(u, t) = v(u', t) + v(u'', t), \quad 0 < t \leq d(u')$$

$$v(u, t) = v(u'', t), \quad d(u') < t \leq d(u'');$$

- dacă $d(u') > d(u'')$

$$v(u, t) = v(u', t) + v(u'', t), \quad 0 < t \leq d(u'')$$

$$v(u, t) = v(u', t), \quad d(u'') < t \leq d(u').$$

Deci unda rezultată se obține însumînd la fiecare moment amplitudinile celor două unde care se compun.

Compunerea este o operație asociativă și comutativă.

b) Compunerea tăiată după stînga este o aplicație

$\& : U \times U \rightarrow U$ notată $u = \&(u', u'')$, unde:

- dacă $u' = e$, atunci $u = e$;
- dacă $u'' = e$, atunci $u = u'$;
- dacă $u' \neq e, u'' \neq e$ se consideră u', u'' compacte

(dacă nu sînt, se compactează mai întîi).

Apoi:

- dacă $d(u')=d(u'')=d$, atunci:

$$v(u,t)=v(u',t)+v(u'',t) \quad 0 < t \leq d;$$

- dacă $d(u') < d(u'')$, atunci:

$$v(u,t)=v(u',t)+v(u'',t) \quad 0 < t \leq d(u');$$

- dacă $d(u') > d(u'')$, atunci:

$$v(u,t)=v(u',t)+v(u'',t) \quad 0 < t \leq d(u'')$$

Deci compunerea tăiată după stînga este asemănătoare cu o compunere în care din rezultat se păstrează eșantioane doar pe durata primului operand; această compunere nu este însă nici asociativă nici comutativă.

c) Compunerea tăiată după dreapta este o aplicație $! : U \times U \rightarrow U$ notată $u = !(u', u'')$, unde:

- dacă $u' = e$, atunci $u = u''$;

- dacă $u'' = e$, atunci $u = u'$;

- dacă $u' \neq e, u'' \neq e$, atunci se consideră u', u'' compacte (dacă nu sînt, se compactează mai întîi) și apoi:

- dacă $d(u')=d(u'')=d$, atunci:

$$v(u,t)=v(u',t)+v(u'',t) \quad 0 < t \leq d;$$

- dacă $d(u') < d(u'')$, atunci:

$$v(u,t)=v(u',t)+v(u'',t) \quad 0 < t \leq d(u').$$

$$v(u,t)=v(u'',t) \quad d(u') < t \leq d(u'')$$

- dacă $d(u') > d(u'')$, atunci

$$v(u,t)=v(u',t)+v(u'',t) \quad 0 < t \leq d(u'')$$

Deci compunerea tăiată după dreapta este asemănătoare cu o compunere în care din rezultat se păstrează eșantioane doar pe durata celui de al doilea operand. Nu este însă nici asociativă, nici comutativă.

d) Amplificarea este o aplicație $@ : U^* \times Z \times N^* \rightarrow U^*$, notată $u = @ @ (u', s_1, s_2)$ unde: $s_1 \in Z, s_2 \in N^*$

$$n = n'$$

$$a_i = E((a_i * s_1) / s_2)$$

$$d_i = d_i$$

(E=partea întregă; *=produs; /=împărțire).

Se observă că dacă $|s_1/s_2| > 1$, avem de-a face cu o amplificare propriu-zisă (unda rezultantă are amplitudini mai mari în valoare absolută), iar dacă $|s_1/s_2| < 1$, atunci avem de-a face cu o atenuare (unda rezultantă are amplitudini mai mici în valoare absolută).

e) Multiplicarea undă-scalar este o aplicație $@ : U^* \times N \rightarrow U^*$, notată $u = @ !(u', s)$, unde $s \in N$ iar:

- dacă $s=0$, atunci $u=e$;

- dacă $s>0$, atunci

$$d(u)=s$$

$$v(u,t)=v(u',t-E((t-1)/d(u')) * d(u')) \quad 0 < t \leq s$$

(E=partea întregă).

Deci multiplicarea undă-scalar are ca rezultat o undă formată din concatenarea unei aceleiași unde cu ea însăși pînă se acoperă o anumită durată s. Dacă $s=0$ rezultă o undă singulară.

f) Multiplicarea scalar-undă este o aplicație $! @ : N \times U^* \rightarrow U^*$, notată $u = ! @ (s, u')$, unde $s \in N$ iar:

- dacă $s=0$, atunci $u=e$;

- dacă $s>0$, atunci:

$$n = n' \cdot s$$

$$a_i = a'_i$$

$$d_i = d'_i$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$j = i - E((i-1)/n') \cdot n'$$

Se observă că u este astfel înct

$$v(u,t) = v(u',t-E((t-1)/d(u')) * d(u')) \quad 0 < t \leq s * d(u').$$

Deci multiplicarea scalar-undă este asemănătoare cu multiplicarea undă-scalar, dar rezultatul se obține calculînd de s ori unda inițială.

Dacă $s=0$ rezultă o undă singulară.

g) Scăderea (separarea) undelor este o aplicație $! : U \times U \rightarrow U$, notată $u = !(u', u'')$, unde

- dacă $u' = e$, atunci $n = n'$, $a_i = -a'_i$, $d_i = d'_i$;

- dacă $u'' = e$ atunci $u = u'$;

- dacă $u' \neq e, u'' \neq e$ se consideră u', u'' compacte (dacă nu sînt, se compactează mai întîi);

Apoi:

- dacă $d(u')=d(u'')=d$, atunci

$$v(u,t)=v(u',t)-v(u'',t) \quad 0 < t \leq d$$

- dacă $d(u') < d(u'')$, atunci

$$v(u,t)=v(u',t)-v(u'',t) \quad 0 < t \leq d(u')$$

$$v(u,t)=-v(u'',t) \quad d(u') < t \leq d(u'');$$

- dacă $d(u') > d(u'')$, atunci

$$v(u,t)=v(u',t)-v(u'',t) \quad 0 < t \leq d(u'')$$

$$v(u,t)=v(u',t) \quad d(u'') < t \leq d(u').$$

Deci rezultatul scăderii (separării) se obține scăzînd la fiecare moment amplitudinea celei de a doua unde din amplitudinea primei unde.

Denumirea de scădere este prin urmare justificată de relația:

$$!(u, u) = (0, d(u)).$$

Denumirea de separare este justificată de relațiile:

$$!(!(u', u''), u'') = u'$$

$$!(!(u', u''), u') = u''$$

$$!(!(!(u', u''), u''), u'') = !(u', u'')$$

Avem, de asemenea, relațiile:

$$!(u, !(u', u'')) = !(!(u, u'), u'')$$

$$!(u, !(u', u'')) = !(!(u, u'), u'')$$
 etc.

h) Dilatarea este o aplicație $! : U^* \times N \rightarrow U^*$, notată $u = !/(u', s)$, unde $s \in N$ și:

- dacă $s=0$, atunci $u=e$;

- dacă $u' = e$, atunci $u = e$;

- dacă $s \neq 0, u' \neq e$, atunci

$$n = n'$$

$$a_j = a'_j$$

$$d_i = E((d'_i * (s - \sum_{j=1}^{i-1} d_j)) / (d(u') - \sum_{j=1}^{i-1} d'_j))$$

$$(considerînd \sum_{j=1}^{i-1} d_j = 0, \sum_{j=1}^{i-1} d'_j = 0 \text{ pentru } i=1)$$

- dacă $s/d(u') > 1$, are loc o dilatare propriu-zisă;

- dacă $s/d(u') < 1$, are loc de fapt o contractare.

Se observă că duratele de eșantioane rezultante capătă o valoare obținută printr-o mărire (respectiv, micșorare) aproximativ proporțională cu $s/d(u')$.

Durata undei u este:

$$d(u) = \sum_{i=1}^n d_i = s.$$

Demonstrație:

Fie durata ultimului eșantion din u:

$$d_n = E((d'_n * (s - \sum_{j=1}^{n-1} d_j)) / (d(u') - \sum_{j=1}^{n-1} d_j))$$

dar:

$$d(u') = \sum_{j=1}^n d_j$$

deci:

$$d(u') - \sum_{j=1}^{n-1} d_j = d_n$$

iar:

$$d_n = E((d'_n * (s - \sum_{j=1}^{n-1} d_j)) / d_n) = E(s - \sum_{j=1}^{n-1} d_j) = s - \sum_{j=1}^{n-1} d_j$$

Rezultă:

$$s = d_n + \sum_{i=1}^{n-1} d_i = \sum_{i=1}^n d_i = d(u)$$

i) Dilatarea cu interpolare este o aplicație $!!: U^* \times N \rightarrow U$, notată $u = !!(u^*, s)$, unde $s \in N$ și:

- dacă $s=0$, atunci $u=e$;
- dacă $u^*=e$, atunci $u=e$;
- dacă $s \neq 0$, $u^* \neq e$, atunci:
- se dilată mai întâi unda u^* la durata s , obținind o undă $u'' = !!(u^*, s)$ (vezi punctul h); presupunem, fără a micșora generalitatea, că u' este compactă; dacă nu este compactă atunci se compactează și se renumerotează eșantioanele;
- din unda u'' se obține unda u astfel:

Pentru oricare eșantion i ($1 \leq i \leq n'$) și considerînd $a'_{n+1}=0$, $d'_{n+1}=0$ se generează un șir de m eșantioane $(a_{i,k}, d_{i,k})$, după cum urmează:

- Dacă $|a'_{i+1} - a'_i| \geq d'_i$, atunci $m=d'_i$

$d_{i,k}=i$ $k=1,2,\dots,n$

$a_{i,1}=a'_i$

$a_{i,k}=a_{i,k-1} + E((a'_{i+1} - a_{i,k-1}) / (d'_i - (k-2)))$ $k=2,3,\dots,m$.

Ultimul eșantion al acestei serii are:

$a_{i,m}=a_{i,m-1} + E((a'_{i+1} - a'_{i,m-1}) / (d'_i - (m-2)))$.

Următorul termen ar avea:

$a_{i,m+1}=a_{i,m} + E((a'_{i+1} - a_{i,m}) / (d'_i - (m-1)))$

Dar: $d'_i=m$

Deci: $a_{i,m+1}=a_{i,m} + E(a'_{i+1} - a_{i,m}) = a_{i,m} + a'_{i+1} - a_{i,m} = a'_{i+1}$, ajungîndu-se astfel la amplitudinea următorului eșantion din u' .

- Dacă $|a'_{i+1} - a'_i| < d'_i$, atunci:

$m = |a'_{i+1} - a'_i|$

$a_{i,1}=a'_i$

$d_{i,1}=E(d'_i/m)$

$a_{i,k}=a_{i,k-1} + \text{sgn}(a'_{i+1} - a'_i)$

$d_{i,k}=E((d'_i - \sum_{j=1}^{k-1} d_{i,j}) / (m - k + 1))$ $k=2,3,\dots,m$,

unde sgn este funcția signum:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{dacă } x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}$$

Se observă că amplitudinea următoare ar fi:

$$\begin{aligned} a_{i,m+1} &= a_{i,m} + \text{sgn}(a'_{i+1} - a'_i) = a_{i,m-1} + 2 * \text{sgn}(a'_{i+1} - a'_i) = \dots \\ &= a'_i + m * \text{sgn}(a'_{i+1} - a'_i) = a'_i + |a'_{i+1} - a'_i| * \text{sgn}(a'_{i+1} - a'_i) = \\ &= a'_i + a'_{i+1} - a'_i = a'_{i+1} \end{aligned}$$

S-a ajuns deci la amplitudinea următorului eșantion din u' .

De asemenea se vede că:

$$d_{i,m} = E((d'_i - \sum_{j=1}^{m-1} d_{i,j}) / (m - m + 1)) =$$

$$= E(d'_i - \sum_{j=1}^{m-1} d_{i,j}) = d'_i - \sum_{j=1}^{m-1} d_{i,j}$$

Rezultă:

$$\sum_{j=1}^m d_{i,j} = d'_i$$

deci eșantioanele construite acoperă durata d'_i .

Din cele de mai sus se vede că dilatarea cu interpolare este asemănătoare cu dilatarea, menționînd că are loc și o atenuare a creșterilor/descreșterilor, astfel încît între două amplitudini de eșantionare consecutive din cazul dilatării, pentru dilatarea cu interpolare apare un număr maxim posibil de eșantioane distincte, cu variații de amplitudine și durată cît mai uniforme.

j) Modularea este o aplicație $\#: U^* \times U^* \times N^* \rightarrow U$ notată $u = \#(u^*, u'', s)$, unde $s \in N^*$ și:

- dacă $u^*=e$, atunci $u=e$;
- dacă $u^* \neq e$, $u''=e$, atunci $u=u''$;
- dacă $u^* \neq e$, $u'' \neq e$, atunci:
- se execută mai întâi o dilatare fără interpolare a undei u'' (numită undă modulatoră) la durata undei u' (numită undă modulată); fie u''' această undă; $u''' = !!(u'', d(u'))$;
- se obține unda u din undele u' și u''' astfel încît $v(u,t) = E((v(u',t) * v(u''',t)) / s)$.

Se observă că modularea este în fond o amplificare cu coeficient de amplificare variabil. Acest coeficient de amplificare este dat de valorile de amplitudine la fiecare moment de timp din unda modulatoră. Prin această operație, variațiile globale de amplitudine ale unei unde vor urmări în linii mari variațiile de amplitudine ale altei unde. Pentru ca urmărirea să fie mai fină se poate eventual dilata cu interpolare unda modulatoră și atunci avem:

$u = \#(u', !!(u'', d(u')), s)$.

k) Extracția este o aplicație $E \times T: U^* \times N^* \times N^* \rightarrow U$ notată $u = E \times T(u', s_1, s_2)$, unde $s_1 \in N$, $s_2 \in N^*$ și:

- dacă $s_1 \geq s_2$ sau $s_1 \geq d(u')$, atunci

$n=1$

$a_i = d_i = 0$

(deci $u=e$);

- dacă $s_1 < s_2$ și $s_1 < d(u')$, atunci

$v(u,t) = v(u', s_1 + t)$ $0 < t \leq s_2 - s_1$
 $t \leq d(u')$.

Rezultă deci că extracția permite selecția unei porțiuni dintr-o undă de la primul $t' > s_1$ la ultimul $t' \leq s_2$ și $t' \leq d(u')$.

l) Defazajul este o aplicație $DPH: U \times N \times N \rightarrow U$, notată $u = DPH(u', s_1, s_2)$, unde $s_1 \in N, s_2 \in N$ și:

- dacă $u' = e$, atunci $u = e$;
- dacă $u' \neq e$, notînd

$t_1 = E((d(u') * s_1) / s_2) - k * d(u')$, unde $k \geq 0$, astfel încît

$$k * d(u') \leq E((d(u') * s_1) / s_2)$$

$$(k+1) * d(u') > E((d(u') * s_1) / s_2)$$

avem:

- dacă $t_1 = 0$, atunci $u = u'$;
- dacă $t_1 \neq 0$, atunci avem:

$$v(u, t) = v(u', t_1 + t) \quad 0 < t \leq d(u') - t_1$$

$$v(u, t) = v(u', t_1 + t - d(u')) \quad d(u') - t_1 < t \leq d(u').$$

Rezultă deci că eșantioanele pe durata t_1 sînt mutate la coada undei. Se observă că defazajul este echivalent cu:

$$u = DPH(u', s_1, s_2) = (EXT(u', t_1, d(u')), EXT(u', 0, t_1)).$$

m) Filtrarea este o aplicație $FLT: U \times N \times N \times N \rightarrow U$, notată $u = FLT(u', s_1, s_2, s_3)$, unde $s_1 \in N, s_2 \in N, s_3 \in N$ și:

- $d(u) = d(u')$
- dacă $u' = e$, atunci $u = e$
- dacă $u' \neq e$, atunci:
 - dacă $E(s_1/s_3) = 0, E(s_2/s_3) \neq 0$, atunci u se obține prin filtrare trece jos din u' cu frecvența superioară $E(s_2/s_3)$.
 - dacă $E(s_1/s_3) \neq 0, E(s_2/s_3) = 0$, atunci u se obține prin filtrare trece sus din u' cu frecvența inferioară $E(s_1/s_3)$.
 - dacă $E(s_1/s_3) = 0, E(s_2/s_3) = 0$, atunci: $u = (0, d(u'))$
 - dacă $E(s_1/s_3) \neq 0, E(s_2/s_3) \neq 0$, atunci u se obține prin filtrare trece bandă din u' cu frecvența limită inferioară $E(s_1/s_3)$ și frecvența limită superioară $E(s_2/s_3)$.

Algoritmul de filtrare efectivă depinde de modul de implementare concretă, dar el trebuie să respecte, în general, condiția:

$$\text{Dacă } E(s_1/s_3) \neq 0 \\ E(s_2/s_3) \neq 0$$

atunci:

$$FLT(u', s_1, s_2, s_3) = FLT(FLT(u', 0, s_2, s_3), s_1, 0, s_3) = \\ = FLT(FLT(u', s_1, 0, s_3), 0, s_2, s_3).$$

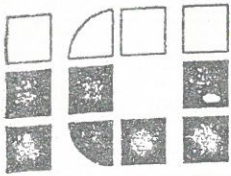
4. Concluzii

Operațiile prezentate permit sinteza unor forme de undă complexe. Definiția lor a fost astfel făcută încît să poată fi implementată pe un calculator numeric. Desigur, pentru a putea fi comod folosite, operațiile cu unde trebuie să apară ca elemente ale unui limbaj specializat. Un astfel de limbaj numit W (Wave Oriented Language) a fost deja definit, dar el va face obiectul unei alte lucrări. Precizăm numai că operațiile cu unde descrise mai sus constituie în

cadru acestui limbaj elementele de bază cu ajutorul cărora, prin intermediul expresiilor, se pot construi și prelucra forme de undă. Pentru ca această sinteză să fie simplificată și totodată ținînd seama de posibilitățile oferite de calculatorul numeric, limbajul W conține, pe lîngă expresiile de undă și o serie de tipuri de instrucțiuni care permit execuția de ciclări, construirea de unde din elemente defazate automat, definirea de funcții subprogram de tip scalar sau undă, execuția de funcții scalare implicite (sinus, cosinus, radical), definirea de macroinstrucțiuni execuție cu vizualizări pentru depanare. De asemenea, W include o serie de instrucțiuni pentru prelucrări de unde care modelează sunetele: construirea de surse sonore formal independente, descrierea de receptori sonori, descrierea evoluției în spațiu și timp a receptorilor și a surselor sonore (pentru realizarea stereofoniei). În felul acesta, limbajul W poate fi folosit și în sinteza semnalelor vocale sau muzicale.

Bibliografie

1. ANGHELESCU, I.-*Expertiza criminalistică a vocii și vorbirii*, Editura Stiințifică și Enciclopedică, București, 1970.
2. CRAWFORD, F., S., JR.-*Unde (Cursul de fizică Berkeley, vol.III)*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
3. CREANGĂ, I., REISCHER, C., SIMOVICI, D.-*Limbaje formale*, Editura Junimea, Iași, 1974.
4. DARABONT, A., IORGA, I., CIODĂRU, M.-*Măsurarea zgomotului și vibrațiilor în tehnică*, Editura Tehnică, București, 1983.
5. MARGHESCU, I., BĂDESCU, GH.-*Transmiterea discretă a semnalelor*, Editura Tehnică, București, 1978.
6. MÎSCĂ, A., BRĂTESCU, I., SERVAN, E.-*Tehnica sunetului: înregistrarea și redarea*, Editura Tehnică, București, 1971.
7. ROSETTI, AL., LĂZĂROIU, A.-*Introducere în fonetică*. Editura Stiințifică și Enciclopedică, București, 1982.
8. SINNREICH, H., VASILESCU, A.-*Transmisiuni cu modulația impulsurilor în cod*, Editura Tehnică, București, 1974.
9. DRĂGĂNESCU, M. (coordonator)-*Analiza și sinteza semnalului vocal* In: Probleme de microelectronică, informatică, automatică și telecomunicații, vol.14, Editura Academiei R.S.R., București, 1986.
10. URMA, D.-*Acustică și muzică*, Editura Stiințifică și Enciclopedică, București, 1982.
11. KELLEY, R., A.-*PCM Techniques in the USA*, PCM-Technik, VDE-Verlag, Berlin, 1972.
12. BETTS, J., A.-*Signal Processing, Modulation and Noise*, The English University Press, London, 1970.



INSTITUTUL DE CERCETARE ÎN INFORMATICĂ

B-dul Mareșal Averescu 8 - 10, Sect. 1, cod 71316, Tel.: 17.79.78 - director, 65.45.65 - comercial, Telex: 11891 icpci
Fax: 65.30.95, București-ROMÂNIA

LA DISPOZIȚIA DVS. PENTRU LUCRĂRI ÎN:

- o Inteligența artificială
- o sisteme expert
- o rețele locale
- o rețele generale
- o preluări distribuite
- o baze și bănci de date
- o birotică
- o MIS
- o sisteme suport de decizie
- o sisteme în timp real
- o conducerea proceselor tehnologice
- o CAD/CAM/CAQ
- o CIM

ORICÂND GATA SĂ PROIECTEZE PE BAZA SPECIFICAȚIILOR DVS.:

- o programe
- o sisteme informatice
- o sisteme la cheie

ASIGURĂ:

- o asistență tehnică
- o școlarizare
- o douăsprezece luni garanție

INTELIGENȚĂ
COMPETENȚĂ
INVENTIVITATE

PARTENERUL DVS.
PE TERMEN LUNG
ÎN INFORMATICĂ

Laboratorul

SISTEME INFORMATICE PENTRU GESTIUNE ECONOMICĂ, ASISTAREA DECIZIILOR, MANAGEMENT

Colectivul laboratorului este format din specialiști de înaltă calificare, avînd o experiență de peste 20 de ani în proiectarea, realizarea și implementarea de sisteme informatice "pe măsură" și de pachete de programe aplicative cu grad mai larg de aplicabilitate.

Dintre sistemele informatice realizate și puse în funcțiune se menționează cele pentru Electroputere-Craiova, IPRS-Băneasa, Întreprinderea de Pompe Aversa-București, Banca Națională-Filiala București, Combinatul Minier-Rovinari, Întreprinderea de Conducători Electric Emailați-Zalău, Combinatul Petrochimic- Brazi, Pitești, Midia-Năvodari, Întreprinderea de Electronică Industrială-București, precum și două sisteme informatice la cheie realizate în URSS (Moscova și Moghilev).

Specialiștii laboratorului au experiența necesară pentru a realiza:

- informatizarea diverselor domenii de activitate ale întreprinderilor (conducere, comercial, tehnic și de producție, asigurarea calității, personal, financiar-contabil);
- programe performante pe mai multe tipuri de echipamente (mini și microcalculatoare) în limbajele cele mai adecvate;
- baze de date și de cunoștințe centrale sau distribuite;
- modele și algoritmi de optimizare și simulare;
- algoritmi și structuri de date;
- probleme de analiză numerică, statistici matematice, reprezentare grafică;
- instrumente informatice cu caracter utilitar sau tehnologic.

Specialiștii laboratorului sînt disponibili pentru servicii de consultanță, asistență tehnică, studii de fezabilitate, proiecte de sisteme informatice. De asemenea, la cerere sau pe bază de specificații, specialiștii pot proiecta, realiza și implementa sisteme la cheie.

Pentru produsele și sistemele livrate se asigură garanție de 12 luni, școlarizare și instruire pentru personalul utilizatorului.

Pentru alte informații, vă așteptăm la sediul nostru sau la telefon 65.60.60/65.70.15., int. 209 (șef laborator mat. Cornel Lepădatu)