

УДК 534.78:681.142:62-501.2:518.62

НЕКОТОРЫЕ ПРОГРАММЫ КОРРЕЛЯЦИОННОГО  
АНАЛИЗА СИГНАЛОВ

В.Д. Гусев

В настоящей работе приведены две программы корреляционного анализа: "Коран-1" и "Коран-2".

Программы написаны на "Входном языке", созданном в Вычислительном центре СО АН СССР [1,2] и ориентированы на ЭВМ "БЭСМ-6" [3].

Программы предназначены для обработки больших массивов исходных данных, записанных на магнитную ленту. Используемые в программах процедуры печати "print", "редак" и "чис", написанные В.Лозовским [4], позволяют представить информацию, выдаваемую на печать, в удобном для пользователя виде.\*) В процессе работы программы использовались в основном для обработки речевых сигналов.

Программа "Коран-1" предназначена для расчета нормированных функций автокорреляции и взаимной корреляции между любой парой сигналов из заданной совокупности. Предполагается, что сигналы заданной совокупности являются стационарными эргодическими процессами. Корреляционные функции, полученные в результате работы программы, выводятся на график.

При обращении к программе следует задать 5 информационных массивов: инф, J, J, Q, y, которые вводятся в самом начале работы программы.

В массиве "Инф" задается 9 информационных параметров:

$\mathcal{N}$  - число отсчетов каждой из исходных функций на анализируемом интервале ( $\mathcal{N} \leq 1024$ );

\*) Процедуры приведены в [4]. В программе указано только место, куда их нужно включить: ← процедуры print, редак и чис →.

- $k_{max}$  - число исходных функций (каналов), используемых для корреляционного анализа;
- $m_{max}$  - количество вычисляемых отсчетов функции корреляции (длина корреляционной функции);
- $i_{max}$  - общее число корреляционных функций, которое должно быть вычислено;
- $n_0$  - номер начальной зоны на ленте, начиная с которой помещается исходная информация;
- $n$  - номер I-го обрабатываемого слова. Под словом понимается очередная совокупность функций, поступающая для корреляционного анализа (например, система функций с выхода спектрального анализатора);
- $n_{max}$  - количество обрабатываемых слов, расположенных подряд;
- $\Delta$  - число зон на ленте, занимаемых одним словом (каждое новое слово начинается с новой зоны);
- $\rho$  - количество графиков корреляционных функций, выдаваемых одновременно параллельно без наложения ( $1 \leq \rho \leq 5$ ). С увеличением  $\rho$  динамический диапазон каждой функции, естественно, уменьшается.

Массивы  $J = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{i_{max}})$  и  $Z = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{i_{max}})$ , где  $\alpha_i, \beta_i$  принимают любые целые значения от 1 до  $k_{max}$ , указывают, какие именно корреляционные функции должны быть просчитаны. Например, задание  $J = (2, 5, 9)$  и  $Z = (2, 4, 12)$  означает, что должна быть получена автокорреляционная функция для 2-го канала (для 2-й функции исходной совокупности) и взаимные корреляционные функции между пятым и четвертыми каналами ( $R_{5,4}$ ) и девятым и двенадцатым ( $R_{9,12}$ ).

Массивы  $Q$  и  $Y$  являются информационными массивами для печати. Эти массивы приведены в приложении.

Массивы  $Inf, J, Z, Q, Y$  вводятся после программы в том порядке, в котором они описаны выше.

Выдача информации при работе программы организована следующим образом. Печатается название программы, номер обрабатываемого слова, далее порциями по  $\rho$  функций печатаются названия (автокорреляционная или взаимная корреляционная функции) и индексы соответствующих функций, их числовые значения и графики.

Объем программы с динамическими массивами составляет около 650 ячеек, со статическими массивами - примерно в полтора раза меньше.

Программа "Коран-2" предназначена для выявления возможной

линейной корреляционной связи между данной последовательностью случайных величин и всеми оставшимися последовательностями, взятыми из некоторой исходной совокупности. Исходная совокупность представлена, как и в программе "Коран-1", двумерным массивом  $visp [I: k_{max}, I: N]$ . Программа рассчитывает коэффициенты множественной корреляции между каждой строкой данного массива и всеми оставшимися, выдавая попутно на печать коэффициенты разложения данной строки по всем оставшимся.

Алгоритм работы программы описан в [5]. Решение системы линейных уравнений отыскивается методом квадратных корней [6], поскольку исходная матрица является симметричной и положительно определенной.

При обращении к программе следует задать 4 информационных массива:  $Inf1, Inf2, Q, Y$ . Массив  $Inf1$  содержит 6 параметров:  $N$  - число элементов в каждой строке массива  $visp (N \leq 1024)$ ;

$k_{max}$  - число строк массива  $visp$ ;

$i_{max}$  - число строк массива  $visp$ , корреляцию которых с данной строкой мы должны получить ( $1 \leq i_{max} \leq k_{max} - 1$ ).

Параметры  $n_0$  и  $\Delta$  имеют те же значения, что и в программе "Коран-1".

$n_{max}$  - длина массива  $Inf2$ , равная общему числу обрабатываемых слов.

Массив  $Inf2$  - массив номеров слов, которые нужно обработать (считается, что слова расположены подряд по  $\Delta$  зон, начиная с зоны  $n_0$ ). Информационные массивы печати  $Q$  и  $Y$  приведены в приложении.

Информация при работе программы выдается в следующем порядке: печатается название программы, массив  $Inf1$  вводимых параметров, номер обрабатываемого слова, матрица коэффициентов парной корреляции массива  $visp$ , коэффициенты разложения  $i$ -й строки ( $i = 1, \dots, k_{max}$ ) по всем остальным и ( $i_{max} + 1$ ) коэффициентов множественной корреляции.

Программа с динамическими массивами занимает около 600 ячеек памяти, а со статическими около 500.

В заключение автор считает необходимым поблагодарить В.С.Дозовского за ряд ценных советов, в значительной мере способствовавших написанию и отладке программы.

Ниже приведены программы "Коран-1" и "Коран-2".

А Л Ь Ф А - "Коран-1"

1 Начало вещ  $\mathcal{N}$ ,  $k$  max,  $\mu$  max,  $i$  max,  $по, п, г, л$  max,  $\Delta$ ,  $p$ ; мас инф  $[1:9]$  ;  
 2  $J$ ,  $J$   $[1:100]$ ,  $Q$   $[1:5, 1:7]$ ,  $y$   $[1:35]$  ; ввод (инф,  $J$ ,  $Q$ ,  $y$ ) ;  
 3  $\mathcal{N}$  |  $\mathcal{N}$ ,  $k$  max,  $\mu$  max,  $i$  max,  $по, п, г, л$  max,  $\Delta$ ,  $p$  | := инф  $[ ]$  ;  
 4 Начало цел  $k, \ell, m$ ; вещ  $t$ ; мас  $visp$   $[1:k$  max,  $1:\mathcal{N}]$ ,  $R$   $[1:i$  max,  
 5  $0:\mu$  max],  $d$   $[1:k$  max];  
 6 Пропекура кор ( $\mathcal{N}$ ,  $\mu$  max,  $visp$ ,  $R$ ,  $d$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $s$ );  
 7 Начало цел  $\mu, \nu$ ; для  $\mu := 0, \dots, \mu$  max цикл  $\{R$   $[s, \mu] := 0$ ; для  $\nu := 1, \dots,$   
 8  $\mathcal{N} - \mu$  цикл  $R$   $[s, \mu] := R$   $[s, \mu] + visp$   $[a, \nu] \times visp$   $[b, \nu + \mu]$ ;  $R$   $[s, \mu] := R$   $[s, \mu] /$   
 9  $(\mathcal{N} - \mu)$ ; если  $d$   $[a] \times d$   $[b] \neq 0$  то  $R$   $[s, \mu] := R$   $[s, \mu] / sqrt$   $(d$   $[a] \times d$   $[b])$   
 10 Иначе  $R$   $[s, \mu] := 0$  конеч;  $\leftarrow$  проц редак -  $11+15 \neq$ ;  $\leftarrow$  проц print  $16+25 \neq$  ;  
 26 print  $(y$   $[1], y$   $[5], Q, 1)$  ;  
 27 ВП: Начало цел  $m1, m2, m3, m4$ ;  $m1 := m2 = 0$ ; мас  $B$   $[1:1023 + \mathcal{N}]$  ;  
 28  $\ell := n0 + \Delta \times (n - 1)$ ;  $\Delta$  раз цикл  $\{ 0175$   $(16, B$   $[m1+1], B$   $[m1+1024, 0, \ell])$  ;  
 29  $m3 := enter$   $((m1 + 1024) / \mathcal{N})$ ;  $k := 1$ ; для  $m := m2 + 1, m + 1$  пока  $m \leq (m2 + m3)$   
 30  $\& m \leq k$  max цикл для  $m4 := 1, \dots, \mathcal{N}$  цикл  $\{visp$   $[m, m4] := B$   $[k]$ ;  $k := k + 1$  ;  
 31  $m1 := m1 + 1024 - \mathcal{N} \times m3$ ; для  $m := 1, \dots, m1$  цикл  $B$   $[m]$ ;  $B$   $[m \times m3 + m]$  ;  
 32  $m2 := m2 + m3$ ;  $\ell := \ell + 1$  конеч ;  
 33 для  $\ell := 1, \dots, k$  max цикл  $\{d$   $[\ell] := 0$ ; для  $m := 1, \dots, \mathcal{N}$  цикл  $d$   $[\ell] :=$

57

А Л Ь Ф А

34  $d$   $[\ell] + visp$   $[\ell, m]$ ;  $d$   $[\ell] := d$   $[\ell] / \mathcal{N}$ ; для  $\ell := 1, \dots, k$  max цикл для  
 35  $m := 1, \dots, \mathcal{N}$  цикл  $visp$   $[\ell, m] := visp$   $[\ell, m] - d$   $[\ell]$  ;  
 36 для  $m := 1, \dots, k$  max цикл  $d$   $[m] := 0$ ; для  $\ell := 1, \dots, \mathcal{N}$  цикл  $d$   $[m] :=$   
 37  $d$   $[m] + visp$   $[m, \ell] \times visp$   $[m, \ell]$ ;  $d$   $[m] := d$   $[m] / \mathcal{N}$ ; print  $(y$   $[6], y$   $[8], Q,$   
 38  $1)$ ;  $t := n$ ; print  $(t, t, Q, 2)$ ; для  $\ell := 1, \dots, i$  max цикл кор ( $\mathcal{N}$ ,  $\mu$  max,  
 39  $visp, R, d, J[\ell], J[\ell], \ell)$  ;  
 40 Начало цел  $E$ ;  $E = enter$   $(63/p)$ ; мас  $\Gamma$   $[0:\mu$  max,  $1:p+1]$  ; для  $k := 0, \dots, \mu$  max цикл  $\Gamma$   $[k, p+1] :=$   
 41  $y$   $[35]$  ; для  $k := 1$  шаг  $p$  до  $i$  max цикл  $\{$  для  $\ell := k, \ell + 1$  пока  $\ell \leq k + p - 1$   
 42  $\& \ell \leq i$  max цикл  $\{$  если  $J$   $[\ell] = J$   $[\ell]$  то print  $(y$   $[9], y$   $[13], Q, 1)$  иначе  
 43 print  $(y$   $[14], y$   $[19], Q, 1)$ ;  $t := J$   $[\ell]$ ; print  $(t, t, Q, 3)$ ;  $t := J$   $[\ell]$  ;  
 44 int  $(t, t, Q, 4)$ ; print  $(R$   $[\ell, 0], R$   $[\ell, \mu$  max],  $Q, 5)$ ; для  $m := 0, \dots,$   
 45 max цикл  $\{$  редак  $(y$   $[20 + p \times (p-1) / 2 + \ell - k], 5, E + 2 \times E$   $(\ell - k) + R$   $[\ell, m] \times E)$  ;  
 46  $[m, 1 + \ell - k] := y$   $[20 + p \times (p-1) / 2 + \ell - k]$   $\}$  ; редак  $(\Gamma$   $[\mu$  max,  $p+1], 6, 153)$  ;  
 47 print  $(\Gamma$   $[0, 1], \Gamma$   $[\mu$  max,  $p+1], Q, 1)$  конеч ;  
 48  $n := n + 1$ ; если  $n \leq n$  max то на ВП конеч конеч  $\#$

58

1 Начало век  $\mathcal{N}$ ,  $k$  max,  $i$  max,  $no$ ,  $\Delta$ ,  $n$  max,  $n$ ;  $n := I$ ; мас Инф  $I [1:6]$ ;  
 2 Инф  $2 [1:100]$ ,  $Q [1:4, 1:7]$ ,  $y [1:34]$ ;  $\leftarrow$  процедура print, редак, чис  $\rightarrow$ ;  
 3 ввод (Инф  $I$ , Инф  $2, Q, y$ );  $\mathcal{N}$ ,  $k$  max,  $i$  max,  $no$ ,  $\Delta$ ,  $n$  max; Инф  $I [ ]$ ;  
 4 print ( $y [1]$ ,  $y [7]$ ,  $Q, I$ ); print(Инф  $I [1]$ , Инф  $I [6]$ ,  $Q, 2$ );  
 5 Начало цел  $k, \ell, m$ ; вещ  $a$ ; мас visp  $[1: k$  max,  $1: \mathcal{N}]$ ,  $z [1: k$  max;  
 6  $I: k$  max],  $mo, \sigma [1: k$  max]; цел мас  $J [1: k$  max];  
 7 Процедура сум ( $S, m, p, q, f$ ); Начало  $s := 0$ ; для  $m := p, \dots, q$  цикл  $s := s + f$  конец;  
 8 Процедура Корм ( $t, i$  max,  $z, J$ ); Начало цел  $i, j$ ; мас  $A [1: i$  max,  
 9  $I: i$  max],  $\beta, \gamma [1: i$  max]; для  $j := 1, \dots, i$  max цикл  $\{\beta [j] := z [J [j + 1]$ ,  
 10  $J [1]$ }; для  $i := 1, \dots, i$  max цикл  $A [i, j] := z [J [i + 1], J [j + 1]]$ ;  $\delta [ ] := \beta [ ]$ ;  
 11  $A [1, 1] := sqz (A [1, 1])$ ; для  $j := 2, \dots, i$  max цикл  $A [1, j] := A [1, j] / A [1, 1]$ ;  
 12  $\beta [1] := \beta [1] / A [1, 1]$ ; для  $i := 2, \dots, i$  max цикл  $\{\text{сум}(a, m, 1, i - 1, A [m, i] + 2)$ ;  
 13  $A [i, i] := sqz (A [i, i] - a)$ ; для  $j := i + 1, \dots, i$  max цикл  $\{\text{сум}(a, m, 1, i - 1,$   
 14  $A [m, i] \times A [m, j])$ ;  $A [i, j] := (A [i, j] - a) / A [i, i]$ }; сум ( $a, m, 1, i - 1, A [m, i]$ ;  
 15  $\times \beta [m]$ );  $\beta [i] := (\beta [i] - a) / A [i, i]$ };  $\beta [i \text{max}] := \beta [i \text{max}] / A [i \text{max}, i \text{max}]$ ;  
 16 для  $i := i$  max - 1 век - 1 до 1 цикл  $\{\text{сум}(a, m, i + 1, i \text{max}, A [i, m] \times \beta [m])$ ;  
 17  $\beta [i] := (\beta [i] - a) / A [i, i]$ };  $y [15] := \text{чис}(J [1])$ ; print ( $y [8]$ ,  $y [16]$ ,  $Q, 1$ );  
 18 print ( $\beta [1]$ ,  $\beta [i \text{max}]$ ,  $Q, 3$ ); сум ( $a, m, 1, i \text{max}, \beta [m] \times \gamma [m]$ );

А Л Б Ф А

19  $t := sqz (a)$  конец;  
 20 вп: Начало цел  $m 1, m 2, m 3, m 4$ ;  $m 1 := m 2 = 0$ ; мас  $B [1: 1023 + \mathcal{N}]$ ;  $\ell := no +$   
 21  $\Delta x$  (Инф  $2 [n] - 1$ );  $\Delta$  раз цикл  $\{\text{сп } 0175 (16, B [m] + 1), B [m 1 + 1024], 0, \ell\}$ ;  
 22  $m 3 := enter ((m 1 + 1024) / \mathcal{N})$ ;  $k := 1$ ; для  $m := m 2 + 1, m + 1$  пока  $m \leq (m 2 + m 3) \&$   
 23  $m \leq k$  max цикл для  $m 4 := 1, \dots, \mathcal{N}$  цикл  $\{\text{visp}[m, m 4] := B [k]$ ;  $k := k + 1$ };  $m 1 :=$   
 24  $m 1 + 1024 - \mathcal{N} \times m 3$ ; для  $m := 1, \dots, m 1$  цикл  $B [m] := B [m \times m 3 + m]$ ;  $m 2 := m 2 + m 3$ ;  
 25  $\ell := \ell + 1$  } конец ;  
 26  $y [20] := \text{чис}(\text{Инф} 2 [n])$ ; print ( $y [17]$ ,  $y [21]$ ,  $Q, 1$ );  
 27 для  $k := 1, \dots, k$  max цикл  $\{\text{сум}(a, m, 1, \mathcal{N}, \text{visp}[k, m])$ ;  $mo[k] := a / \mathcal{N}$ ;  
 28 сум}(a, m, 1, \mathcal{N}, (\text{visp}[k, m] - mo[k]) + 2);  $\sigma [k] := sqz (a / \mathcal{N})$ }; для  $k := 1, \dots,$   
 29  $k$  max цикл для  $m := 1, \dots, \mathcal{N}$  цикл если  $\sigma [k] \neq 0$  то visp  $[k, m] := (\text{visp}[k, m]$   
 30  $- mo[k]) / \sigma [k]$  иначе visp  $[k, m] := 0$ ; для  $k := 1, \dots, k$  max цикл для  $\ell := 1,$   
 31  $\dots, k$  max цикл  $\{\text{если}$   $k \neq \text{то } z [k, \ell] := 1$  иначе  $\{\text{сум}(a, m, 1, \mathcal{N}, \text{visp}[\ell, m]$   
 32  $\times \text{visp}[k, m])$ ;  $z [k, \ell] := a / \mathcal{N}\}$ ; print ( $y [22]$ ,  $y [27]$ ,  $Q, 1$ ); print}(z [1, 1],  
 33  $z [k \text{max}, k \text{max}], Q, 4)$ ; для  $k := 1, \dots, i$  max + 1 цикл  $J [1] := k$ ; для  $\ell :=$   
 34  $2, \dots, i$  max + 1 цикл  $\{\text{если}$   $\sigma [k] \neq 0$  то  $J[\ell] := \ell$  иначе  $J[\ell] := \ell - 1$ }; Корм}(mo[k],  
 35  $i$  max,  $z, J)$ }; print ( $y [28]$ ,  $y [34]$ ,  $Q, 1$ ); print}(mo[1], mo [i \text{max}] + 1,  
 36  $Q, 3)$ ;  $n := n + 1$ ; если  $n \leq n$  max то на вп конец конец ;

Массивы  $y$  и  $Q$  к программе "Коран-1"

I Б	(I73) Р ж (I74) А (I75)	25 Б	(I73) <sup>151</sup>   (I73) 0 ж
2 Б	(I73) Ч П Р О Г	26 Б	(I73)   (I73) 0 ж
3 Б	Р А М М А	27 Б	(I73) Н   (I73) 0 ж
4 Б	К О Р А Н -	28 Б	(I73) <sup>172</sup>   (I73) 0 ж
5 Б	И (I72)	29 Б	(I73) <sup>151</sup>   (I73) 0 ж
6 Б	(I73) Э С Л О В	30 Б	(I73) /   (I73) 0 ж
7 Б	О   Н О М Е	31 Б	(I73) D   (I73) 0 ж
8 Б	Р : (I72)	32 Б	(I73) Э   (I73) 0 ж
9 Б	(I73) К А В Т О	33 Б	(I73) ÷   (I73) 0 ж
10 Б	К О Р Р .	34 Б	(I73) } <sup>154</sup>   (I73) 0 ж
11 Б	Ф У Н К Ц И	35 Б	(I72)
12 Б	Я   Н О М Е	36	Z
-----			
13 Б	Р : (I72)	I 4 0 4 0 4 0 4 I 4 2	Q
14 Б	(I73) А В З А И	2 4 0 4 0	
15 Б	М Н А Я   К	3 4 3 4 6 9 4 I 0 4 I	
16 Б	О Р Р .   Ф	4 4 0 4 0 4 2	
17 Б	У Н К Ц И Я	5 4 3 4 7 5 4 I 0 4 I	
18 Б	Н О М Е Р	6 4 0 4 0 4 0	
19 Б	: (I72)	7	
20 Б	(I73) d   (I73) 0 ж	8	
21 Б	(I73) :   (I73) 0 ж	9	
22 Б	(I73) Ъ   (I73) 0 ж	10	
23 Б	(I73) =   (I73) 0 ж	11	
24 Б	(I73) d   (I73) 0 ж	12	

I Б	(I73) Р ж (I74) А (I75)	25 Б	Е Н Т О В
2 Б	(I73) Ч П Р О Г	26 Б	К О Р Р Е Л
3 Б	Р А М М А	27 Б	Я Ц И И (I72)
4 Б	К О Р А Н 2	28 Б	(I73) И К О Э Ф
5 Б	(I75) (I73) Х М А С	29 Б	Ф И Ц И Е Н
6 Б	С И В   И Н	30 Б	Т Ы   М Н О
7 Б	Ф И : (I72)	31 Б	Ж Е С Т В Е
8 Б	(I73) И К О Э Ф	32 Б	Н Н О Й   К
9 Б	Ф И Ц И Е Н	33 Б	О Р Р Е Л Я
10 Б	Т Ы   Р А Э	34 Б	Ц И И (I72)
11 Б	Л О Ж Е Н И	35	Z
12 Б	Я   С Т Р О	36	Z
-----			
13 Б	К И   Н О М	I 4 0 4 0 4 0 4 I 4 I	Q
14 Б	Е Р :	2 4 0 4 0	
15 Б	О О О О О О	3 4 3 4 3 4 8 4 I 4 2	
16 Б	(I72)	4 4 I 3 4 8	
17 Б	(I73) Р С Л О В	5 4 3 4 3 4 7 4 I 4 2	
18 Б	О   Н О М Е	6 4 I 2 4 9	
19 Б	Р :	7 4 3 4 0 4 6 4 I 4 2	
20 Б	О О О О О О	8 4 I 0 4 I I	
21 Б	(I72)		
22 Б	(I73) Р М А Т Р		
23 Б	И Ц А   К О		
24 Б	Э Ф Ф И Ц И		

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А.П. ЕРШОВ, Г.И. КОЖУХИН, Ю.М. ВОДОШИН. Входной язык для систем автоматического программирования. Новосибирск, 1964.
2. А.П. ЕРШОВ, Г.И. КОЖУХИН, И.В. ПОТТОСИН. Руководство к пользованию системой Альфа. Наука, Новосибирск, 1968.
3. Математическое обеспечение машины БЭСМ-6. Описание и инструкции. ИТМ и ВТ, ВЦ АН СССР, М., 1967.
4. В.С. ДОЗОВСКИЙ. Программы синтеза рекурсивных цифровых фильтров (РЦФ). Настоящий сборник.
5. Я.И. ЛУКОМСКИЙ. Теория корреляции и её применение к анализу производства. М., Госстатиздат, 1961.
6. Я.С. ДЫМАРСКИЙ и др. Справочник программиста, т. I, Издат. судостроительной пром., Л., 1963.

Поступила в редакцию  
10. IV. 1969 г.