

Таблиця 4
Час затримки інформаційних пакетів

Місто	Київ	Запоріжжя	Одеса	Сімферополь	Дніпропетровськ	Донецьк	Харків	Севастополь
Київ	-	0,12	0,13	0,15	0,08	0,11	0,1	0,35
Запоріжжя	0,1	-	0,1	0,3	0,05	0,06	0,1	0,05
Одеса	0,13	0,1	-	1,0	0,3	0,31	0,33	0,34
Сімферополь	0,15	0,3	1,0	-	0,85	0,87	0,93	0,01
Дніпропетровськ	0,08	0,05	0,3	0,85	-	0,27	0,3	0,29
Донецьк	0,11	0,06	0,31	0,87	0,27	-	0,31	0,29
Харків	0,1	0,1	0,33	0,93	0,3	0,31	-	0,34
Севастополь	0,35	0,05	0,34	0,01	0,29	0,29	0,34	-

Висновок

Синтезована загальна топологічна структура корпоративної мережі порівнювалася з топологією типу «зірка», яка дозволяє пропускати вихідні потоки інформації з затримкою в часі, які відповідають часу затримки. Наряду з очевидними недоліками цього варіанту (не задовольняє вимогам двохзв'язності, надлишкова загрузка центрального вузла і недогризка останніх, вихід із ладу всієї мережі при відмові комутатора в Києві), виявилось, що синтезований варіант мережі дешевше топології «зірка» по вартості аренди каналів на 15%.

Список літератури

1. *Дмитренко А.П.* – Модели безопасного соединения с удаленными объектами / Дмитренко А.П., Сирченко Г.А., Хорошко В.А. // *Захист інформації*, №1, 2010. – с. 53-57.
2. *Соколов А.В.* – Защита информации в распределенных корпоративных системах / Соколов А.В., Шальчин В.Ф. – М.: ДМК Пресс, 2002. – 656с.
3. *Дмитренко О.П.* – Побудова структурної моделі інформаційної системи для синтезу комплексної системи захисту інформації / Дмитренко О.П., Хорошко В.О. // *Сучасний захист інформації*, №1, 2010.–с. 64-70.
4. *Оре О.* – Теория графов / Оре О. – М.: Наука, 1980. – 336 с.

Надійшла 27.10.2010

УДК 621.39:534.782

Демьян Н.И., Осмоловский В.А., Хорошко В.А.

ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА

Введение

Поскольку с помощью речи осуществляется передача информации, возможны, по меньшей мере, два подхода к количественному описанию этого процесса. Один из них основан на теории информации [1] в соответствии с которым речь можно охарактеризовать ее информационным содержанием или информацией. Другой способ описания речи заключается в представлении ее сигналом, т.е. акустического колебания. Хотя идеи теории информации играют важную роль при построении систем связи, наиболее приемлемыми на практике все же оказываются представление речи в виде колебаний. Это позволяет с использованием теории сигналов описать их моделями различного вида.

Основная часть

Из уравнения [1] видно, что параметры артикуляционного аппарата изменяются во времени непрерывно. Это обстоятельство следует отразить и в моделях сигнала. Так, на основании выражений из [1]:

$$\begin{aligned} \zeta_k(t) &= \zeta_{k+1}(t) - r_k \xi_{k+1}(t-1) \\ \xi_k(t) &= \xi_{k+1}(t-1) - r_k \zeta_{k+1}(t) \\ k=1,2,\dots,m; \quad \zeta_{m+1}(t) &= \xi_{m+1}(t)=x_t, \quad t=1,2,\dots \end{aligned}$$

и

$$\begin{aligned} \zeta_{k+1}(t) &= r_k \xi_{k+1}(t-1) + \zeta_k(t) \quad k=1,2,\dots,m \\ \xi_{k+1}(t-1) &= r_k \zeta_{k+1}(t) + \xi_k(t) \quad k=2,\dots,m \\ \zeta_1(t) &= \xi_t \end{aligned}$$

можно перейти к переменным во времени коэффициентам отражения $r_k(t)$, а в уравнении авторегрессии [2]

$$x_t = \sum_{i=1}^m a_i x_{t-i} + \xi_t$$

к переменным параметрам $a_i(t)$ [2,3].

Для этого следует ввести допущения о функциях времени $r_k(t)$ и $a_i(t)$, например, задав их разностными уравнениями. Запишем (1) в форме:

$$x_t = A_{t-1}^T x_{t-1}^{t-m} + \xi_t \quad (2)$$

где $A_{t-1} = (a_{t-1}^{(1)}, a_{t-1}^{(2)}, \dots, a_{t-1}^{(m)})^T$, $x_{t-1}^{t-m} = (x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-m})^T$; T -знак операции транспонирования. Предполагая, что параметры можно описать случайным вектором процессом авторегрессии, запишем выражение:

$$A_t = \Lambda_a(t, t-1)A_{t-1} + \Lambda_0 + B_a W_t^a, \quad (3)$$

где Λ_a - матрица размера $m \times m$; $B_a = \text{diag}(B_{a1}, B_{a2}, \dots, B_{am})$;

$\Lambda_0 = (\Lambda_{01}, \Lambda_{02}, \dots, \Lambda_{0m})^T$;

$W_t^{(a)}$ - стационарная последовательность независимых случайных векторов, состоящих из независимых случайных величин;

$$E W_t^{(a)T} W_t^{(a)} = \mathbf{1}; \quad E W_t^{(a)} = \mathbf{0}; \quad \mathbf{1} = \text{diag}(1, 1, \dots, 1)_{m \times m};$$

Символом E обозначена операция вычисления математического ожидания. Матрицы Λ_a, B_a определяют корреляционные свойства вектора случайных параметров A_t , а вектор Λ_0 - безусловное математическое ожидание. Для применения линейной параметрической нестационарной модели (2) и (3) необходимо располагать значениями матричных коэффициентов $\Lambda_a, \Lambda_0, B_a$. Их можно получить по оценкам корреляционных матриц выборочным дисперсиям и средним значениям траекторий параметров $a_t^{(i)}$. Можно принять $\Lambda_0 = \mathbf{0}, B_a = \mathbf{0}$. При таких коэффициентах уравнение (3) описывает параметры квазидетерминированные функции времени при неизвестных значениях.

Исходя из выражений [2], в некоторые введем управляющие воздействие $\lambda(x, t)$ можно записав функцию площади поперечного сечения голосового тракта в форме $S(x, \lambda(x, t), t)$. Такая запись является наиболее общей из всех раньше рассмотренных, так как учитывает управление артикуляционным аппаратом при произнесении звуков. В зависимости от того, какова функция $\lambda(x, t)$ и способ управления, закон изменения $S(x, t)$

будет разным. Отсутствие достаточно подробных данных о структуре и характеристиках системы управления движениями артикуляционных органов не позволяет ввести управляющее воздействие, адекватное процессу речеобразования. Поэтому построение моделей с учетом $\lambda(x, t)$ можно выполнить лишь из общих представлений о системе управления.

Известно, в частности, [3], что при артикуляции изменяются характеристики переходных процессов в контурах управления. Например, изменяется длительность переходных процессов или скорость его затухания. Предполагая, что на достаточно малом интервале времени траектория коэффициента отражения

$$r_k(t) = \lambda_k r_k(t-1) + (1 - \lambda_k) r_k^{(\Phi)}, \quad (4)$$

где $k=1,2,\dots,m$; $t=1,2,\dots$; $\lambda_k = \text{const}$; $r_k^{(\Phi)}$ – финальное на данном интервале значение коэффициента отражения, которое должно установиться в результате управления. Второе слагаемое в (4) описывает управляющее воздействие в виде ступенчатой последовательности, действующей на входе на всем интервале времени так, как это часто имеет место в системах управления. Итерируя (4), получим

$$r_k(t) = \lambda_k^t r_k(0) + (1 - \lambda_k) r_k^{(\Phi)} \sum_{i=1}^t \lambda_k^i = \lambda_k^t r_k(0) + r_k^{(\Phi)} (1 - \lambda_k^t). \quad (5)$$

Если $\lambda_k^t \rightarrow 0$, то $r_k(t) \rightarrow r_k^{(\Phi)}$. Переходный процесс в (4) зависит от λ_k . Поэтому в уравнении оказывается два управляющих воздействия $r_k^{(\Phi)}$ и λ_k . Это обстоятельство усложняет использование модели, так как совместное оценивание λ_k и $r_k^{(\Phi)}$ по наблюдаемой реализации x_k оказывается нелинейным. Заметим, однако, что при известном начальном значении $r_k(0)$ получить в конце интервала финальное значение $r_k^{(\Phi)}$ можно, установив в (4) соответствующее значение λ_k и опустив входное ступенчатое воздействие. Учитывая этот факт, (4) можно упростить, ограничившись одним управляющим воздействием λ_k

$$r_k(t) = \lambda_k r_k(t-1) \quad \lambda_k > 0 \quad (6)$$

Для снижения влияния начального значения $r_k(0)$ на всю последующую траекторию $r_k(t)$ на будущих интервалах времени, где параметр λ_k имеет другие значения, перепишем (6), так:

$$r_k(t) = \lambda_k r_k^\alpha(t-1), \quad 0 < \alpha < 1, \quad \lambda_k > 0 \quad (7)$$

Проиллюстрируем эффект от введения α . Пусть на двух примыкающих друг к другу интервала параметр λ_k равен λ_{k1} и λ_{k2} соответственно. Тогда на первом интервале

$$r_{k1}(T) = r_{k1}^{\alpha T}(0) \lambda_{k1}^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha} T}$$

На втором (последующем) интервале

$$r_{k2}(t) = r_{k2}^{\alpha t}(0) \lambda_{k2}^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha} t}$$

и, так как $r_{k2}(0) = r_{k1}(T)$, то

$$r_{k2}(T) = r_{k1}^{\alpha T}(0) \lambda_{k1}^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha} T} \lambda_{k2}^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha} T} \quad (9)$$

Из (9) видно, что на n -м интервале начальное значение $r_{k1}(0)$ войдет в формулу со степенью $\alpha^{nT} \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0$, и, таким образом введение коэффициента $\alpha < 1$ в (7) способствует снижению влияния начального значения.

Линейную параметрическую модель с (7) можно получить из соотношений [1], которые теперь на интервале постоянства параметра λ_k следует переписать так:

$$\begin{aligned} \zeta_{k+1}(t) &= [1 - r_k(t)] \xi_{k+1}(t-1) + \zeta_k(t), \\ \xi_{k+1}(t-1) &= [1 - r_k(t)] \zeta_{k+1}(t-1) + \xi_k(t), \\ \zeta_1(t) &= \xi_t, \quad \zeta_{m+1}(t) = \xi_{m+1}(t) = x_t, \quad k = 1, 2, \dots, m; \quad t = 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (10)$$

В (10) введен коэффициент $1 - r_k(t)$ вместо $r_k(t)$ в линейную модель [1]. Это сделано для того, чтобы при $r_k(t) > 0$ [смотри выражение (7)], можно было получить отрицательное значение коэффициентов отражения, которые равны $1 - r_k(t)$, $k = 1, 2, \dots, m$. Важно, что информационным параметром является уже не $r_k(t)$, а λ_k , так что (10) уместно переписать с учетом (7) так:

$$\zeta_{k+1}(t) = \left[1 - r_k^{\alpha^t}(0) \lambda_k^{\frac{1-\alpha^t}{\alpha}} \right] \xi_{k+1}(t-1) + \zeta_k(t),$$

$$\xi_{k+1}(t-1) = \left[1 - r_k^{\alpha^t}(0) \lambda_k^{\frac{1-\alpha^t}{\alpha}} \right] \zeta_{k+1}(t) + \xi_k(t).$$

Это, в свою очередь, означает, что процесс x_z является нестационарным и только на интервалах, где $\lambda_k = 1$, $k = 1, 2, \dots, m$, и имеет место локальное постоянство параметров модели, можно, пренебрегая переходными процессами принять гипотезу о «локальной стационарности» x_z . Заметим, что оценивание λ_k по реализации x_z - не простая задача, поэтому для упрощения можно при настройке модели использовать и (4), где значения λ_k считать известными, а в качестве информационных параметров, подлежащих оцениванию, принять $r_k^{(\Phi)}$. В этом случае значение $r_k^{(\Phi)}$ также следует считать настоящими на интервалах конечной длительности.

В модулях [1,2] и (2), (3), (10) и (11) не учтено возбуждение $F(\Phi, t)$, [см.[6]]формируемая в голосовой щели. Это возбуждение в модулях учитывается двумя способами. Опишем первый. Воспользуемся разделением переменных и запишем $F(\Phi, t) = F_1(\Phi)F_2(t)$. Приняв $F_1 = 1$, ограничимся описанием F_2 . Для этого будем считать, что возбуждение состоит из последовательности импульсов известной формы U_z и удовлетворяет соотношению из [2], в котором выделены временные переменные t_i - координаты импульсов, и период их следования $T_0 = t_i - t_{i-1}$. Наличие временных переменных неудобно, так как их значения неизвестны, а совместное оценивание t_i, T_0, a_i или r_i трудно выполнить, по крайней мере в реальном масштабе времени. Заметим попутно, что возбуждение $F_2(t)$ может быть отражено в модели из [2] только на участках произнесения вокализованных звуков. Поэтому, при анализе сигнала, по существу, необходимо решать задачу обнаружения импульсов U_z . Напомним, что во всех моделях t - дискретное нормированное время, поэтому U_z - последовательность отсчетных значений импульса, взятых с интервалом дискретизации Δt .

Второй способ учета возбуждения $F(\Phi, t)$ в моделях состоит в следующем. Выделим из выражения [2] нелинейную часть с $F(\Phi, t)$ и интерпретируем ее как автономную нелинейную систему малого порядка, в которой формируется функция возбуждения $F(\Phi, t)$.

Обозначим последовательность, отображающую это возбуждение, через y_z . Тогда, полагая, что y_z формируется в системе первого порядка, можно получить уравнение [4]

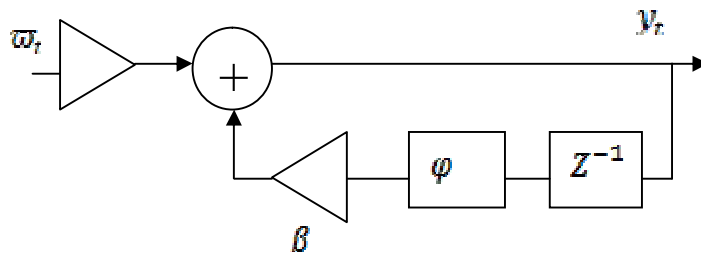


Рис.1. Структурная схема нелинейной системы, формирующей периодическое возбуждение

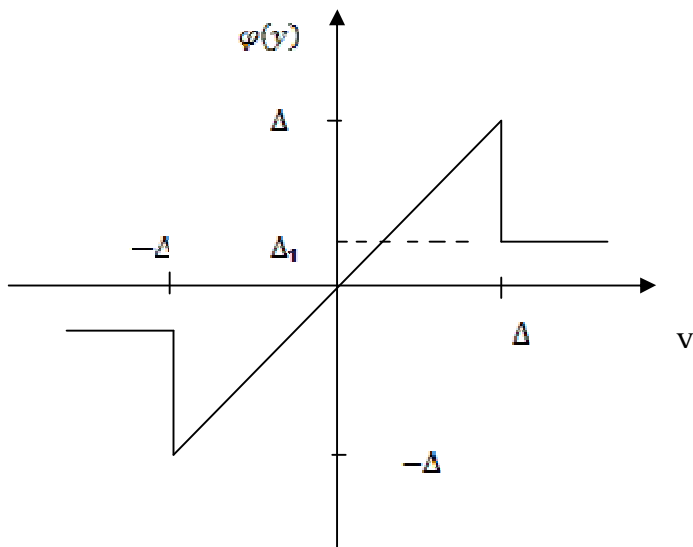


Рис.2. Характеристика безинерционного нелинейного преобразования в системе, показанной на рис.1.

При $b > \Delta_1$ и малых β периодический характер возбуждения исчезает из-за шума ω_1 . В (12) нет временных координат импульсов поэтому при анализе сигнала достаточно оценить β и b . Оценка β заменяет оценку t_i, T_0 в [2], а оценка b устраняет необходимость обнаружения участков произнесения вокализованных звуков. Если от оценивания β и b отказаться для упрощения алгоритмов, то вновь возникает необходимость оценивания T_0 для пересчета в оценку β и обнаружения. Оценивать t_i однако, не требуется и в этом случае.

Модель сигнала можно получить объединив (12) с одной из ранее рассмотренных моделей. Например для модели [2] имеем

$$y_t = \beta \varphi(y_{t-1}) + b\omega_t,$$

$$x_t = \sum_{i=1}^m a_i x_{t-1} + c y_{t-1} + \zeta_t$$

где обычно $c=1$. В модели [2] достаточно принять $\zeta_1(t) = c y_{t-1} + \zeta_t$. Эти модели являются нелинейными с постоянными параметрами. Если воспользоваться (2), (3) или (11) с $\zeta_1(t) = c y_{t-1} + \zeta_t$ совместно с (12), то получаем нелинейные параметрические модели.

Выводы

Линейные параметрические и нелинейные модели наиболее полно отражают свойства речевого сигнала в дискретном времени. Дальнейшее развитие моделей этого класса проводится в направлении более точного описания как возбуждения $F(\Phi, t)$ совместно с голосовым трактом, так и контуров управления артикуляционным движением.

Список литературы

1. *Вентцель Е.С.* – Теория вероятностей // Вентцель Е.С. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
2. *Демьян Н.И.* – Линейные модели речевого сигнала с локально-постоянными параметрами / Демьян Н.И., Осмаловский В.А., Хорошко В.А. // Захист інформації, №1, 2010. – с. 94-101.
3. *Прохоров Ю.Н.* – Статистические модели и рекуррентное предсказание речевых сигналов / Прохоров Ю.Н. – М.: Радио и связь, 1984. – 240 с.
4. *Сорокин В.Н.* – К теории речеобразования / Сорокин В.Н.// В кн. Речевое обращение в автоматизированных системах. – М.: Наука, 1995. – с.103-127.
5. *Сорокин В.Н.* – Теория речеобразования / Сорокин В.Н. – М.: Радио и связь, 1985. – 312 с.

Поступила 23.03.2010