В. А. Виттих

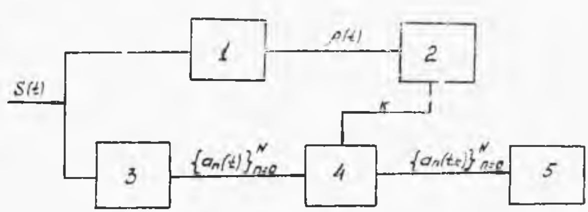
СЕЛЕКТИВНАЯ ИНВАРИАНТНОСТЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И ПРОБЛЕМА СЖАТИЯ ДАННЫХ

Задача сжатия данных может быть сформулирована как задача оценки принадлежности измерительных сигналов к определенным классам. Если сигнал находится в заданном классе (с точностью до ε), то информация на выходе измерительной системы должна отсутствовать. Иными словами, система измерений должна обладать свойством избирательной (селективной) инвариантности к выбранному классу сигналов. Поэтому решение проблемы сжатия связано с построением селективных инвариантных измерительных систем.

Теория инвариантности нашла широкое применение при построении систем автоматического управления [1]. В последние годы появились работы, в которых эта проблема рассматривается применительно к теории связи [2]. В работе [3] предложены методы построения измерительных устройств, инвариантных к произвольным внешним возмущениям.

В докладе показано, что селективная инвариантность является важным условием синтеза систем сжатия измерительной информации. Эта задача решается с использованием структурных моделей сигналов, которые являются удобным конструктивным инструментом синтеза [4].

Обобщенная блок-схема устройства сжатия измерительной информации представлена на рис. 1 [5]. В блоке *1* производится оценка отклонения измерительного сигнала $s(t) \in S$ от принятой модели $q(t) \in Q$, то есть определяется принадлежность сигнала заданному классу Q. Функция $\rho(t)$ характеризует степень рассогласования и сравнивается в устройстве сравнения *2* с допустимой ошибкой ε. Если $\rho(t)$ меньше ε, то параметры сигнала $\{a_{п}(t)\}^{N}_{n=0}$, текущие значения которых вычисляются в блоке *3*, не проходят на выход ключевой схемы *4*. Если величина рассогласования становится равной ε, то в этот момент времени $t_к$ по команде $к$ в блоке *5* регистрируются значения параметров сигнала $\{a_{п}(t_к)\}^{N}_{n=0}$.



Основная задача заключается в выборе алгоритма работы блока 1, то есть в синтезе системы для оценки принадлежности сигнала заданному классу.

Измерительный сигнал $s(t)$ на отрезке $[t_{к-1}, t_к]$ $(к=1,2,...)$ можно представить состоящим из сигнала $q(t) \in Q$, называемого моделью, и функции невязки $r(t) \in R$. Объединение модели и невязки $s=s(q, z)$, может быть различным. Наиболее часто выполняется условие аддитивности $s=q+z$.

Пусть выходной сигнал ρ системы (блока) 1 связан с входом s некоторым оператором A

$$\rho = A(s) = A(q, r).$$

Назовем систему селективно инвариантной относительно множества сигналов Q, если для всех $q(t) \in Q$ выполняется равенство

$$\rho = A(q, r) = A(o, r) = A(r), \quad t_{k-1}, \leqslant t \leqslant t_k.$$

Невязка $r(t)$ характеризует отклонение сигнала $s(t)$ от модели $q(t)$. При построении системы сжатия норма этого отклонения $\|r\|$ ограничивается некоторой величиной Δ, которую необходимо контролировать в процессе измерений. Однако мы можем оценивать непосредственно только норму $\|\rho\| = \varepsilon$. Поэтому возникает задача оценки Δ через ε.

Наилучшей точкой зрения точности оценки $\|r\|$ является инвариантная система, в которой выполняется условие

$$\| r \| = \| \rho \| .$$

Однако такая оценка в реальных условиях не всегда может быть получена. Поэтому в общем случае оценку можно представить в виде неравенства

$$b_{\min} \| \rho \| \leqslant \| r \| \leqslant b_{\max} \| \rho \| . \tag{3}$$

Тогда в заданном классе инвариантных систем необходимо найти систему, для которой

$$\frac{b_{\max}}{b_{\min}} = \min. \tag{4}$$

Таким образом, задача сжатия может быть сформулирована как задача синтеза измерительных систем, инвариантных к заданному классу сигналов Q. По величине нормы $\|\rho\|$ выходного сигнала должна быть оценена норма невязки $\|r\|$, которая характеризует отклонение измерительного сигнала от модели q. Если в некоторый момент времени $t_к$ величина $\|\rho\|$ становится равной допустимой величине ε, производится фиксация параметров сигнала $\{a_n(t_к)\}^N{}_{n=0}$; если $\|\rho\| < \varepsilon$ — длинные не регистрируются и не передаются. В этом состоит сжатие информации.

Однако указанная задача синтеза неоднозначна: можно разработать множество алгоритмов сжатия, которые будут отличаться по своим характеристикам. Одни будут просты в реализации, но обладать низкой точностью оценки нормы невязки $\|r\|$. Другие окажутся более сложными, но будут обеспечивать высокие коэффициенты сжатия. Поэтому вопрос о целесообразности применения того или иного алгоритма должен решаться на основе принятого критерия эффективности

$$\eta = \eta(\alpha_1,\ \alpha_2, \dots ,\ \alpha_p),$$

где α_1, $\alpha_2, \dots$, α_p — характеристики алгоритма (устройства) сжатия такие как коэффициент сжатия, точность, сложность, помехоустойчивость и т. п. В частности, для оценки эффективности можно использовать функцию

$$\eta = \sum_{p=1}^{v} B_p\, \alpha_p,$$

где B_p — некоторые константы, учитывающие «вес» той или иной характеристики α_p. Выбор B_p определяется конкретными условиями эксперимента. При известных ограничениях на α_p, решив задачу линейного программирования, можно найти такие значения $\{\alpha_p^+\}^P{}_{=1}$, которые обеспечивают максимум показателя эффективности η. Так формулируются требования, которым должен удовлетворять оптимальный метод сжатия данных.

Следующим этапом синтеза является нахождение оптимального алгоритма (или алгоритма, близкого к оптимальному). Эта задача может быть решена, если имеется методика синтеза, позволяющая получить гамму алгоритмов сжатия и произвести выбор наилучшего алгоритма в заданном классе.

Синтез системы предусматривает выбор ее структуры, определение характеристик ее элементов и установление необходимых связей между ними. Для решения этой задачи необходимо введение ряда дополнительных ограничений, позволяющих достичь компромиса при математической и технической постановке задачи. Должна быть предусмотрена возможность получения условий инвариантности, максимальная простота в техническом и математическом смысле, физическая реализуемость полученных условий. Указанные условия могут быть эффективно реализованы, если использовать структурные модели сигналов при синтезе инвариантных систем измерений [4].

Структурная модель A сигнала $s(t)$ представляет собой объединение по некоторому правилу Φ результатов преобразований сигнала $s(t)$ некоторыми операторами A_m

$$A(s) = \Phi\,[A_0(s),\ A_1(s), \dots ,\ A_М(s)]. \tag{5}$$

Можно показать, что если класс операторов A_m линеен, то оценка нормы $\|r\|$ представляется в виде

$$\frac{\varepsilon}{\| A \|} \leqslant \Delta \leqslant \varepsilon \, \| A^{-1} \| , \tag{6}$$

где $\| r \| = \Delta$, $\| \rho \| = \varepsilon$.

Сравнивая (6) с (3), находим, что

$$b_{\min} = \frac{1}{\| A \|}; \quad b_{\max} = \|A^{-1}\| .$$

Согласно (4) необходимо, чтобы операторы A и A^{-1} удовлетворяли условию

$$\frac{b_{\max}}{b_{\min}} = \| A \| \| A^{-1} \| = \min. \tag{7}$$

Выбор операторов A_m зависит от класса сигналов s, случайных помех, от сложности реализации и т. п. Поэтому последующее изложение требует дополнительных ограничений. Для примера рассмотрим синтез алгоритмов адаптивной дискретизации сигналов на основе использования структурных моделей сигналов.

В качестве модели сигнала на отрезке $[0,t]$ примем прямую

$$q(\tau) = a_0 + a_1 \tau.$$

Если предположить, что апроксимирующая прямая проходит через точку $q(o)$, то, не умаляя общности рассуждений, можно рассматривать задачу синтеза для модели сигнала

$$q(\tau) = a_1 \tau. \tag{8}$$

Задача заключается в построении системы, селективно инвариантной к классу линейных сигналов вида (8).

Пусть $\xi(\tau)$ — аддитивный стационарный белый шум, искажающий сигнал $s(\tau)$. Сигнал s может быть представлен в виде степенного ряда

$$s(\tau) = \sum_n a_n \tau^n.$$

Потребуем, чтобы операторы обеспечивали минимум среднеквадратической ошибки на выходе инвариантной системы при нулевой динамической ошибке в воспроизведении m-ой составляющей τ^m исходного сигнала $s(\tau)$, то есть

$$\sigma^2 = \min \text{ при } t^m - A_m(\tau^m) = 0 \tag{9}$$

В работе [6] показано, что операторы A_m, удовлетворяющие условиям (9), имеют вид

$$A_m(s) = \frac{2m+1}{t^{m+1}} \int_0^t \tau^m s(\tau) \, d\tau. \tag{10}$$

Таким образом, будем искать инвариантную систему в классе

$$\rho = A(s) = \sum_{m=0}^{\text{м}} c_m A_m(s), \tag{11}$$

где A_m — операторы вида (10) (при этом предполагаем, что в класс операторов входит и единичный оператор).

Необходимым условием построения инвариантной системы является

$$\rho = A(q) = a_1 A(\tau) = 0,$$

то есть

$$\sum_{m-0}^{\text{м}} c_m A_m(\tau) = 0. \tag{12}$$

Пусть

$$\rho = A(s) = s(t) + c_m \frac{2m+1}{t^{m+1}} \int_0^t \tau^m s(\tau) d\tau.$$

Определив c_m из условия (12), получим

$$\rho(t) = s(t) - \frac{m+2}{t^{m+1}} \int_0^t \tau^m s(\tau) d\tau. \tag{13}$$

Учитывая, что $s = q + r = a_1\tau + r$, (13) перепишем в виде:

$$\rho = A(r, q) = r(t) - \frac{m+2}{t^{m+1}} \int_0^t r(\tau) \tau^m d\tau. \tag{14}$$

Далее необходимо получить оценки вида (7). Вычислив норму прямого A и обратного A^{-1}, оператора, получим следующее неравенство:

$$\frac{m+1}{m+2} \| \rho \| \leqslant \| r \| \leqslant \| \rho \| (m+3).$$

Найдем величину m, удовлетворяющую условию (7). Проделав несложные преобразования, получим $m=0{,}41$, то есть при таком m получается наиболее точная оценка нормы невязки. Приняв в качестве m ближайшее целое, получим алгоритм работы инвариантной системы в форме

$$\rho(t) = s(t) - \frac{2}{t} \int_0^t s(\tau) d\tau.$$

Норма $\|\rho\| = \varepsilon$ должна быть выбрана из условия

$$\varepsilon = \frac{\| r \|}{m+3} = \frac{\Delta}{3}.$$

При этом норма невязки не будет превышать допустимой величины Δ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современные методы проектирования систем автоматического управления (под редакцией акад. Б. Н. Петрова). М., «Машиностроение», 1967.
2. Окунев Ю. Б. Системы связи, инвариантные к помехам. Радиотехника, № 8, 1971.
3. Уланов Г. М. Статистические и информационные вопросы управления по возмущению, М., «Энергия», 1970.
4. Виттих В. А. Заездный А. М. Сжатие измерительной информации на основе использования ее структурных свойств. Известия ВУЗов, раздел «Приборостроение», том XIV, № 8, 1971.
5. Виттих В. А., Гинзбург А. Н. Некоторые общие вопросы теории сокращенного представления измерительных сигналов. Автометрия, № 3, 1968.
6. Солодовников В. В., Семенов В. В. Синтез и оценка точности фильтров, самонастраивающихся по входному сигналу. Сборник «Автоматическое управление и вычислительная техника», вып. 9, М., изд-во «Машиностроение», 1968.

Н. И. Вихров, А. А. Немой, О. Г. Чумаченко

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕДИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НА БАЗЕ ЭЦВМ М-220

При медико-биологических исследованиях обычно регистрируется большое количество информации в виде зависимостей напряжения от времени, оперативная обработка которых возможна лишь с использованием ЭЦВМ. Обрабатываемые сигналы могут быть как детерминированными, так и случайными процессами. Некоторые процессы являются периодическими функциями времени (кардиосигналы, пневмограммы и др.). Алгоритмы обработки кривых обычно включают в себя выделение информативных показателей и их статистическую обработку, корреляционный и спектральный анализ, классификацию кривых. Успешное применение ЭЦВМ для обработки аналоговых сигналов невозможно без автоматизации процесса ввода регистрируемых сигналов в машину и выдачи результатов в наглядной форме. В настоящей работе рассматривается система автоматической обработки аналоговых сигналов на базе ЭЦВМ М-220.

Общая блок-схема системы представлена на рис. 1. В данной системе универсальная ЭЦВМ М-220 включена в аналого-цифровой комплекс АЦЭМС-1, который осуществляет сопряжение вычислительной машины с выходами усилителей биосигналов или выходами магнитных регистраторов.. Преобразование информации из аналоговой формы в цифровую и обратно производится преобразователями типа УП-3. В основу схемы аналого-цифрового преобразования положен способ следящего кодирования, а цифро-аналогового — схема суммирования весовых