

УДК 621.38; 536.5

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ СТАТИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ И ПОМЕХ

Мирошниченко И.В.

Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского” (Украина)

Особенностью статистических измерений является необходимость проверки результатов измерений различными методами. Для конкретной PRAR (например, морской среды или живого организма), модели весьма разнообразны и часто противоречивы. Для решения этих задач необходима систематизация имеющихся и разработка новых алгоритмов как анализа, то есть более полных и, соответственно, более точных алгоритмов поверочных расчетов элементов в условиях априорной неопределенности, так и при появлении некоторой новой информации, используемой для адаптации, так и алгоритмов синтеза, то есть более быстрых и простых алгоритмов решения обратных и оптимизационных задач. При этом в качестве основного должен быть принят универсальный принцип пошаговой оптимизации, при анализе ССВХС порождает действие приемов декомпозиции, а при их синтезе - модульности в любой проблемной области.

При создании систем измерения статистических характеристик (СХ) возможны использования как аналоговых, так и цифровых методов. Схемные решения, использующие аналоговую технику, позволяют обеспечить высокое быстродействие, но отличаются большими погрешностями и малыми (в смысле гибкости) функциональными возможностями.

Использование так называемых процессорных измерений, в состав которых может быть включен специализированный процессор (аналоговый - электронный или оптический, цифровой - сигнальный DSP и т.д.), который принимает непосредственное участие в получении результатов измерений (прямых, косвенных, общих и др), так и в управлении измерительным экспериментом и последующей обработке измерительной информации, что позволяет надеяться на то, что возможны проектирование и изготовление универсальных в алгоритмической и аппаратно планах статистических ИВС.

Ключевые слова. Информационные технологии, архитектура компьютера, организация проектирования

Постановка проблемы. Опыт проектирования информационно-измерительных систем (ИИС) и систем обработки данных (СОД) дает качественную картину того, как сказывается организация проектирования (как внешнего, так и внутреннего) на качество ИИС.

Известно, что в процессе внешнего проектирования число эффективных идей убывает примерно по экспоненциальному закону (участок 1 рис. 1) при одновременном непрогнозируемом росте затрат. При это идея которая использовалась вначале эксперимента к концу эксперимента может оказаться устарелой. Использование методов оптимизации в “чистом виде” для задач проектирования статистических ИИС (СИИС), используемых в исследованиях космоса, в гидроакустике и радиолокации, в медицине т.д., затруднено из-за нечеткой постановки задачи. В этих задачах почти всегда требуется разработка подхода, специфического для данной проблемной области, например, комплексирования измерений информативных параметров сигналов.

Анализ последних исследований и публикаций. Классическая задача оптимизации заключается в нахождении экстремального значения некоторой функции $f(S_1, S_2, \dots, S_K)$ в определенной принятым образом области S , задаваемой неравенствами вида $G(S_1, S_2, \dots, S_K) \geq 0$ или $G(S_1, S_2, \dots, S_K) \leq 0$ [1].

Для решения этой задачи применяется много методов: линейное, нелинейное, динамическое, дискретное, выпуклое квадратическое (или стохастическое) программирования с различными подходами к учету действующих ограничений (симплекс-метод Данцига; классические методы вариационного исчисления - уравнения Эйлера-Лагранжа; градиентные методы - принцип оптимальности Р. Беллмана; принцип максимума Понтрягина и другие методы) [2]. Выбор подхода зависит от выбора целевой функции f и характера ограничений конкретной PRAR, что предполагает

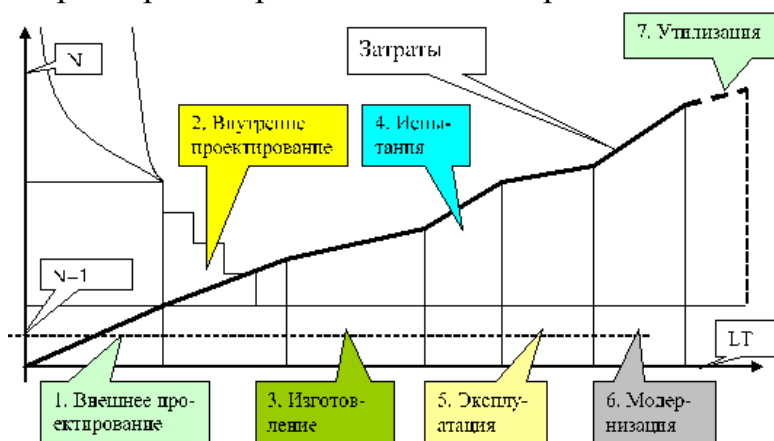


Рис. 1. Затраты по этапам за время жизненного цикла системы

исследование самой постановки на корректность.

Определение корректности можно представить в виде $z = R(u)$, где z - решение количественной задачи по исходным данным u , z и u есть элементы метрических

пространств Z и U с расстояниями между элементами $\rho_u(u_1 u_2)$ и $\rho_z(z_1 z_2)$, $u_1 u_2 \in U$, $z_1 z_2$ при выполнении двух условий [3].

Условие I. Задача нахождения $z \in Z$ и $u \in U$ называется корректной на паре метрических пространств Z и U , если:

- определено понятие решения по u , т.е. известно, каков результат и в какой форме желательно его получить;

- имеется множество $u = \{u_i\}$, $i = \overline{1, N}$ такое, что для всякого $u \in U$ есть $z \in Z$;

- $rank(u) = z$, т.е. решение однозначно;

- задача устойчива на пространстве решений $z = R(u)$, т.е. выполняется условие II.

Условие II. Задача нахождения $z = R(u)$ устойчива на (z, u) , если для любого числа $\varepsilon > 0$ существует $\delta(\varepsilon) > 0$ такое, что из $\rho_u(u_1 u_2) \leq \delta$ следует $\rho_z(z_1 z_2) < \varepsilon$,

где $z_1 = R(u_1)$; $z_2 = R(u_2)$; $u_1 u_2 \in U$; $z_1 z_2 \in Z$.

Нарушение хотя бы одного из пунктов этих условий свидетельствует о некорректности задачи.

Формулирование целей статьи. Задачи оптимизации СИИС и большинства СОД некорректны почти по всем пунктам, поэтому для прикладных задач математиками были разработаны методы глобальной регуляризации слабо корректных и некорректных задач: метод регуляризации А.Н. Тихонова; методы регуляризации задач линейного программирования на принципе инвариантности оптимальных решений; методы регуляризации задач дискретного программирования, например, метод "правильных" отсечений (алгоритм Гомори) и т.д.

Условие регуляризации задач большой размерности $m * n$, где m - число неизвестных при n ограничениях, типичным образом которых является задача оптимизации СИИС, может быть сформулировано как условие применения пошаговой оптимизации - субоптимизации, имеющее универсальный характер [1-4].

Субоптимизация является руководящим правилом при оптимизации различных многоступенчатых иерархических структур и поэтому часто порождает действие аналогичных приемов: декомпозиции, иерархичности, модульности и т.д. Особенно важен принцип субоптимизации при синтезе СИИС, работающих в условиях априорной неопределенности, когда на каждом уровне детализации системы решается своя задача проектирования.

При оптимизации систем существенным является разбиение области допустимых (возможных) решений на области согласия и компромиссов, при котором оптимальное решение может

принадлежать только области компромиссов (оптимальное по Парето решение) [4], т.к. в области согласия решение может быть улучшено, по определению, по всем принятым критериям, а если решение может быть улучшено, то оно не является оптимальным.

Но поскольку улучшение качества решения по одному критерию в области компромиссов обязательно влечет за собой ухудшение качества по другому критерию, выбор лучшего варианта без совместного одновременного применения анализа и синтеза невозможен. Поэтому математическое обеспечение процесса проектирования обязательно должно содержать две подсистемы: подсистему анализа - полные и точные алгоритмы поверочного расчета и подсистему синтеза - упрощенные модели и быстрые алгоритмы решения обратных и оптимизационных задач.

Основная часть. Система синтеза на каждом уровне детализации должна непрерывно пополняться новыми, более полными, моделями и соответствующими им алгоритмами, каждый этап синтеза проверяется на подсистеме анализа, и процедура повторяется до тех пор, пока не будет получено решение, удовлетворяющее *Условию II*.

Обобщим требования к выбору показателей качества СИИС с учетом рекомендаций:

- по обоснованию решений и методов проектирования, при которых требования надежности, в том числе и метрологической [4]; являются обязательными,

- о первостепенном значении для СИИС информационной ценности. Учитывая, что оптимальное решение $z_{opt} = R(u)$ обязательно должно лежать в области компромиссов, приходим к необходимости уточнения процедуры формирования показателя качества системы.

По физической сущности процесс формирования показателя качества Q базируется на принципе сравнения с некоторым эталоном, для которого известны или сформулированы на стадии внешнего проектирования основные и оптимальные в определенном смысле показатели $Q_0 = \langle Q_{01}, Q_{02}, \dots, Q_{0N} \rangle$. При оптимизации достигается минимум расстояния $\rho(Q_1 Q_2)$ между концами n -мерных векторов показателей, определяемых множеством показателей Q_0 эталонной и Q_1 проектируемой системы:

$$\text{MIN} \rho(Q_1 Q_2) = \text{MIN} \sqrt{\alpha_1 (Q_1 - Q_{01})^2 + \dots + \alpha_N (Q_N - Q_{0N})^2}, \quad (1)$$

где $\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_N$ - весовые коэффициенты, выбираемые так, что $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$.

Параметрическая чувствительность S расстояния $\rho(Q_1 Q_2)$ к изменениям любого $Q_i \in Q = \langle Q_1, Q_2 \dots Q_n \rangle, i = \overline{1, n}$ характеризуется соотношением:

$$S_{Q_1}^{\rho} = \frac{Q_1}{\rho(Q_1 Q_0)} \frac{d\rho(Q_1 Q_0)}{dQ_1} = \alpha_i Q_1 (Q_1 - Q_0), i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

из которого следует условие выбора наиболее существенных для заданного показателя качества параметров, обеспечивающих $S_{Q_1}^{\rho} = MAX$.

Комплексный показатель качества должен отражать разрешение главных и принципиальных для СИИС компромиссов:

- между ценностью V информации и затратами C на получение данных (результатов измерения, контроля и т.д.) при изменении одной из основных метрологических характеристик ИИС - относительной погрешности δ (рис. 2),

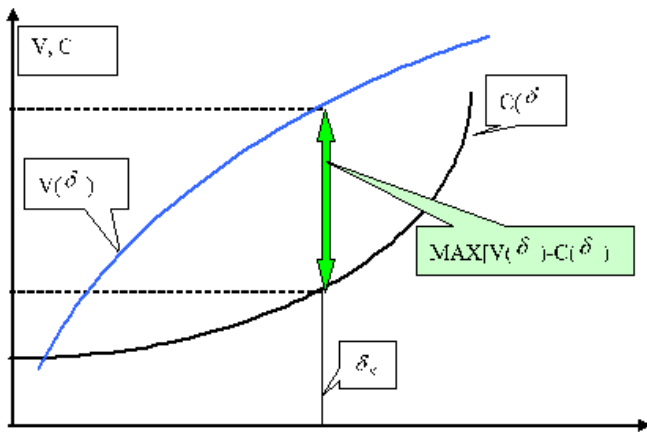


Рис. 2. Первый компромисс между затратами на получение данных и ценностью информации

погрешности δ (рис. 2),

- между начальными затратами P и затратами E на эксплуатацию ИИС при изменении параметров (например, надежности R) системы (рис. 3). Отсюда следует, что показатель качества СИИС должен быть составным и комплексным.

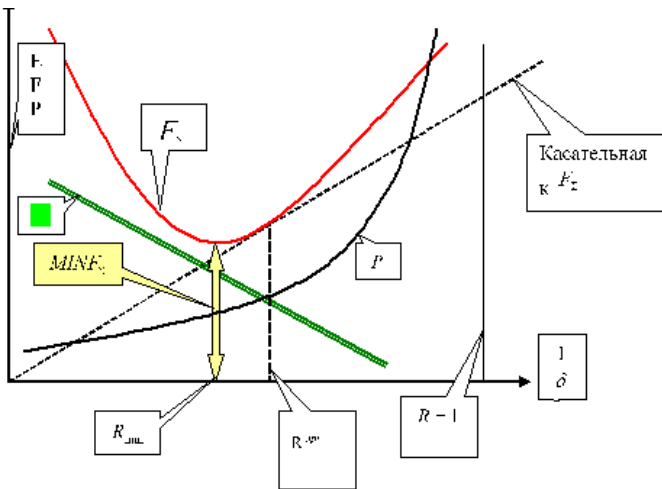


Рис. 3. Второй компромисс суммарных затрат ресурсов

Достижение первого компромисса (рис. 2) предполагает достижения $MAX[V(\delta) - C(\delta)]$, а второго компромисса - достижения $F_{\Sigma} = MIN F_{\Sigma}$ суммарных затрат ресурсов (рис.3).

Рис. 2. Первый компромисс между затратами C на получение данных и ценностью V информации.

Общность свойств данного комплексного показателя качества

системы отражается сущностью понятия *ценности V информации затрат E* на ее получение и обработку.

Рис. 3. Второй компромисс $F_{\Sigma} = MINF_{\Sigma}$ суммарных затрат ресурсов.

Комплексный показатель качества СИИС может быть приведен в аддитивной форме при обеспечении в процессе оптимизации следующих условий

$Q_1 = \beta_1 F_1 + \beta_2 F_2$, $MAXF_1 = MAX [V(\delta) - C(\beta)]$, $MAXF_2 = MINF_{\Sigma}$, где $\beta_1 + \beta_2 = 1$ – весовые коэффициенты.

Ценность информации является основным критерием для СИИС и включает следующие факторы: погрешность (точность) измерения, давность информации о состоянии объекта (время получения результатов и согласованием их с параметрами объекта), давность информации для выработки решения (управляющего воздействия), возможность прогнозирования (иначе говоря, возможность проведения адаптации), уместность и последствие.

Определяющее значение в большинстве технических приложений имеет погрешность (точность), принципиально недостижимая при статистических измерениях за требуемое (или наперед заданное) время, и увеличивающая таким образом давность информации, что ведет к принятию неверных решений. С одной стороны, ценность V информации возрастает при увеличении точности СИИС, но с другой стороны, одновременно с этим увеличивается время измерения и обработки результатов – то есть ценность информации со временем уменьшается. Если время для получения результата измерения с малой погрешностью превышает предел, способствующий принятию эффективного решения, то в этом случае дополнительная точность может игнорироваться, так как информация “устаревает” к моменту принятия решения [4].

При создании систем измерения статистических характеристик (СХ) возможны использование как аналоговых, так и цифровых методов. Схемные решения, использующие аналоговую технику, позволяют обеспечить высокое быстродействие, но отличаются большими погрешностями и малыми (в смысле гибкости) функциональными возможностями. Использование цифровых принципов [3] позволяет повысить точность статистических измерений и создать многофункциональные СИИС, измеряющие различные СХ и реализующие даже такие алгоритмы обработки, что становится возможным выявление “искаженных” массивов информации (например, при изменениях или даже “провалах” питающих напряжений, сменах носителей записи и т.д.).

Использование так называемых процессорных средств

измерений, в состав которых может быть включен специализированный процессор (аналоговый – электронный или оптический; цифровой – сигнальный DSP и т. п.), принимающих непосредственное участие как в получении результатов измерений (прямых, косвенных, совокупных, комплексированных, совместных и др.), так и в управлении измерительным экспериментом и последующей обработке измерительной информации, дает возможность надеяться на то, что возможны проектирование и изготовление универсальных в алгоритмическом и аппаратурном планах статистических ИИС. Поэтому, с учетом вышеизложенного, для каждой PRAR должна быть составлена обобщенная динамическая модель синтеза систем, обладающая свойствами непротиворечивости по отношению к известным подходам, имеющая локальные и общие обратные связи и реализующая принцип субоптимизации - пошаговой (эволюционной) оптимизации.

Выводы. Некорректность задач оптимизации на этапе внешнего проектирования СИИС и СОЭД в большинстве технических приложений требует разработки комплексного метода решения основной задачи внешнего проектирования - уменьшения времени проектирования или синтеза систем с учетом информационного обеспечения в предметной области и априорных сведений о распределении ресурсов (алгоритмических, системных, конструктивных и т.д.) на всех этапах жизненного цикла систем при выборе погрешности в качестве определяющего показателя СИИС.

Литература

1. Детлинг В.С, Мирошниченко И.В. Выбор вида адаптации в информационных системах. *V Міжнародна науково-технічна конференція "Гіротехнології, навігація і керування рухом"* НТУУ "КПІ", м. Київ 21-22 квітня 2005 р. С. 310-313.
2. Мирошниченко В.С. Выбор параметров систем обработки негауссовых случайных процессов. В кн.: Информационно-измерительные системы. Киев: Вища школа. 1974, С.83-89.
3. Мирошниченко В.С., Москанов Н.Д. Уменьшение погрешности вычисления на ЭВМ длительностей выбросов случайных процессов над порогом. В кн.: Тез. докл. IV Вс. конференции по аналоговой и аналого-цифровой технике. М.; 1973. С.119-126
4. Детлінг В.С., Зінченко В.П. Мірошниченко І.В. Аналіз і синтез систем вимірювання статистичних характеристик випадкових процесів. Наукові Вісті НТУУ "КПІ": 2006 С.8-11.

THE CONCEPT OF BUILDING MODELS OF STATISTICAL SYSTEMS MEASUREMENTS OF CHARACTERISTICS OF SIGNALS AND NOISE

Miroshnichenko I.

Feature of statistical measurements is the need for validation of measurement results by different methods, as specific PRAR models are very diverse and often contradictory. To solve these tasks it is necessary to systematize the existing and development of new algorithms of analysis, i.e. a more complete and therefore more accurate calibration algorithms of calculation elements SIIS in conditions of a priori uncertainty, and the emergence of some new information used for adaptation, and synthesis algorithms, i.e., fast and simple algorithms for solving inverse and optimization problems. At the same time the main should be adopted the universal principle of step-by-step optimization, the analysis generates SIIS the effect of the techniques of decomposition, and in their synthesis modularity in any subject area. When creating systems to measure the statistical characteristics (CX) possible to use both analog and digital methods. Circuit designs using analog technology, provide high performance, but have large errors and small (in the sense of flexibility) functionality.

The use of so-called processor of the measuring instruments, which can be turned on a dedicated processor (analog – electronic or optical; digital – signal DSP, etc.) directly involved in obtaining the results of measurements (direct, indirect, cumulative, complexioned, joint, etc.) and in the control of the measuring experiment and the subsequent processing of the measuring information, gives the opportunity to hope that the designing and production of universal in the algorithmic and hardware plans statistical IMS. Therefore, given the above, for each PRAR needs to be made generalized dynamic model of the synthesis of systems having the properties of consistency relative to known approaches, with local and shared feedback and implements the principle of suboptimization - step by step (evolutionary) optimization.

Keywords: information technology, computer architecture, design organization.

КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ СТАТИСТИЧНИХ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛІВ І ЗАВАД

Мірошніченко І. В.

Особливістю статистичних вимірювань є необхідність перевірки результатів вимірювань різними методами, т. к. для

конкретної PRAR (наприклад, морського середовища або живого організму), моделі досить різноманітні і часто суперечливі. Для вирішення цих завдань необхідна систематизація наявних і розробка нових алгоритмів як аналізу, тобто більш повних і, відповідно, більш точних алгоритмів повірочних розрахунків елементів в умовах апріорної невизначеності, так і при появі деякої нової інформації, використовуваної для адаптації, так і алгоритмів синтезу, тобто більш швидких і простих алгоритмів рішення зворотних і оптимізаційних завдань. При цьому в якості основного повинен бути прийнятий універсальний принцип покрокової оптимізації, при аналізі ССВХС породжує дію прийомів декомпозиції, а при їх синтезі - модульності в будь-якій проблемній області.

При створенні систем вимірювання статистичних характеристик (СХ) можливі використання як аналогових, так і цифрових методів. Схемні рішення, які використовують аналогову техніку, дозволяють забезпечити високу швидкодію, але відрізняються великими похибками і малими (в сенсі гнучкості) функціональними можливостями. Використання цифрових принципів [7] дозволяє підвищити точність статистичних вимірювань і створити багатофункціональні ССВХС, що вимірюють різні СХ і реалізують навіть такі алгоритми обробки, що стає можливим виявлення "перекручених" масивів інформації (наприклад, при змінах або навіть "провали" живлячих напруг, змінах носіїв запису і т. д.).

Використання так званих процесорних засобів вимірювань, в склад яких може бути включений спеціалізований процесор (аналоговий – електронний або оптичний, цифровий – сигнальний DSP тощо), які беруть безпосередню участь в отриманні результатів вимірювань (прямих, непрямих, сукупних, комплексированих, спільних та ін), так і в управлінні вимірювальним експериментом і подальшої обробки вимірювальної інформації, що дає можливість сподіватися на те, що можливі проектування та виготовлення універсальних в алгоритмічній і апаратурно планах статистичних ІВС.

Ключові слова: інформаційні технології, архітектура комп'ютера, організація проектування.