

А. М. ЗНАМЕНСКАЯ  
 (Москва)

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ НАТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Целью любого натурального эксперимента является проверка верности гипотез; результат этой проверки выражается ответом — альтернативой: «гипотеза подтверждена или отвергнута». Инструментом для получения результата служит комплекс измерительных средств и средств обработки результатов.

Для составления модели процесса получения результатов при натурном эксперименте допустим, что план проведения эксперимента разработан, т. е. установлены: необходимое количество экспериментов, методы их проведения, последовательность, совокупность измерений в каждом эксперименте и т. п. Процесс получения результатов будет представляться в виде последовательности логических операций, операций измерений и обработки (рис. 1). Полем измерений (П) будем называть совокупность измеряемых параметров  $\{P_i\}$ , описывающих объект [L] исследований. При этом под объектом исследований, в свою

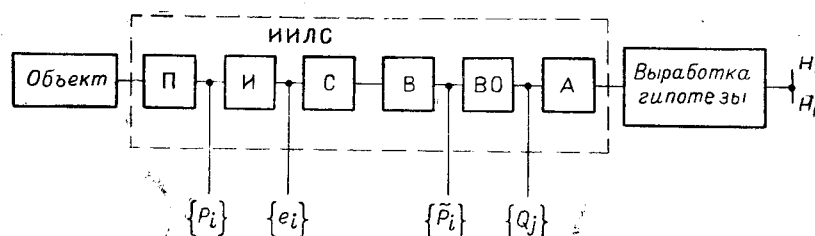


Рис. 1. Модель ИИЛС.

очередь, будем подразумевать совокупность всех систем и элементов, которые подвергаются исследованию в данном эксперименте, т. е.

$$[П] = \{P_i\} \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad [П] \parallel [L].$$

Тогда измерением И будем называть операции (преобразования), в результате которых получается совокупность электрических сигналов  $\{e_i\}$ , соответствующих измеряемым параметрам:

$$[И] = \{\varphi(P_i)\} = \{e_i\} \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

Далее, под сбором информации С будем понимать сведение отдельных

сигналов в кодовую группу (или в ряд кодовых групп), а также трансляцию их по каналам связи в центр обработки  $[C] = C \{e_i\}$ . Оператор  $[C]$  — логический; операцией сбора поток информации организуется; измерительная информация снабжается служебной, необходимой в дальнейшем при обработке (под служебной информацией подразумеваются каналные, кадровые импульсы, адреса, даты и т. п.).

В результате первичной обработки  $V$  восстанавливается поле измерений  $\{\tilde{P}_i\}$  и получаются зависимости измеряемых параметров в функции времени; их совокупность в каждый момент времени и есть поле измерений  $[V] = [I]^{-1}$ .

Объем информации, полученный после первичной обработки, одного порядка с объемом измерительной информации. Алгоритм первичной обработки несложен, детерминирован и состоит в последовательном применении к электрическим сигналам операторов, учитывающих характеристику чувствительности и передаточную функцию измерительной системы, в устранении неоднозначности в измерении, учете взаимных влияний измеряемых параметров. Результаты первичной обработки обычно представляются в символьной форме — в виде таблиц и графиков.

Получение функциональных зависимостей или так называемых характеристик объекта носит название вторичной обработки (ВО). Обобщенные характеристики объекта в самом общем виде представляют собой функции многих переменных  $F(Q_1, Q_2, \dots, Q_N) = 0$ , т. е. многомерные поверхности высокого порядка, где  $Q_j = f(P_1, P_2, \dots, P_k)$  иначе каждый параметр  $Q_j$  является в общем случае результатом косвенных измерений. Вторичная обработка состоит из комплекса детерминированных и статистических операций; к последним относятся сглаживание, интерполяция, аппроксимация и т. п. Результаты вторичной обработки обычно представляются в символьной форме — в виде сеток функциональных графиков и (или) таблиц с двумя входами. Они получаются сечением многомерной поверхности плоскостями, параллельными некоторым выбранным плоскостям. Объем выходной информации, получаемой в результате вторичной обработки, существенно меньше объема исходной измерительной информации ( $N \ll n$ ). Информативность результатов может быть существенно повышена привлечением образов вместо символов. Подобный подход позволяет синтезировать алгоритмы вторичной обработки и выдвинуть общие требования к формам и методам представления результатов.

В результате анализа  $A$  вырабатываются критерии, позволяющие судить об эксперименте и объекте в целом. В случае, если целью эксперимента является установление новых зависимостей, это и есть окончательный результат эксперимента. Анализ может быть детерминированным или статистическим. Примером первого может служить составление анкеты-альтернативы в виде ответов на заранее сформулированные вопросы, в результате которых устанавливаются так называемые информационные показатели; такой анализ позволяет дать предварительное экспресс-суждение о результатах эксперимента. Статистический анализ состоит в вычислении оценок обобщенных параметров — математического ожидания, дисперсии, корреляционных матриц — и может предусматривать привлечение данных предыдущих экспериментов.

На основании критериев вырабатывается суждение: если выполняется гипотеза  $H_0$ , то объект исследований работает нормально, эксперимент осуществляется удовлетворительно и получаются ожидаемые результаты. В этом случае принимается решение о продолжении экспериментов по предварительно выработанному плану. Если выполняется

$H_{II}$ , то в работе объекта имеются аномальности или выявляются новые, ранее неизвестные особенности, которые требуют проведения дополнительных исследований, изменения в плане проведения экспериментов (например, изменения порядка, объема исследований, поля измерений и т. п.).

Гипотезы  $H_I$  и  $H_{II}$  составляют полную группу единственно возможных событий (утверждение об истинности одной из них есть ответ-альтернатива):  $H_I + H_{II} = D$ ;  $H_I \cdot H_{II} = N$ ;  $H_{II} = \bar{H}_I$ .

Если выполнена гипотеза  $H_I$ , то алгоритм обработки в самом общем виде представляет собой алгоритм идентификации, а если гипотеза  $H_I$  отвергнута, то он дополняется алгоритмом технической диагностики. Подобный подход может быть распространен практически на любой эксперимент. В качестве формы представления результатов выработки суждения применима образная, например, в виде мнемосхем. Суждение о верности гипотезы  $H_I$  (эксперимент дал положительные результаты, объект работает нормально) может быть сформулировано: 1) на основании оценок обобщенных характеристик путем сопоставления с теорией, результатами моделирования, результатами других исследований и т. п. или 2) на основе проверки удовлетворения совокупности признаков, однозначно описывающих нормальную работу объекта (логический метод, называемый обычно методом кворума элементов).

Кроме основной, измерительной информации  $I_n$ , получаемой на входе измерительной системы и перерабатываемой в ней с целью получения результатов, в системе «объект — измерительная информационная логическая система — система принятия решения» имеют место дополнительные прямые и обратные потоки информации (рис. 2). К прямым потокам следует отнести: служебную информацию  $I_{сл}$ , дополняющую

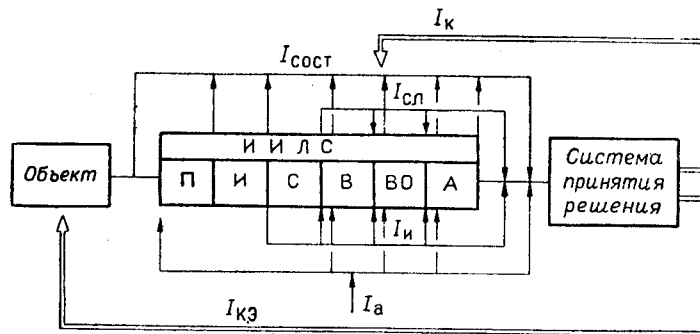


Рис. 2. Потоки информации.

измерительную и предназначенную для ее организации с целью обработки, априорную информацию  $I_a$ , т. е. сведения об объекте исследования и измерительной аппаратуре, необходимые для измерений и обработки измерительной информации, и информацию  $I_{сост}$  о состоянии средств измерений и обработки перед проведением измерений, в процессе и по окончании измерений, необходимую для оценки достоверности полученных результатов.

К обратным потокам относятся:  $I_k$  — команды управления средствами измерений и обработки и  $I_{к.э}$  — команды управления экспериментом. Значение этих потоков информации, их направление от источников к потребителям и время их передачи по отношению к времени проведения эксперимента определяют требования к каналам связи из-

мерительной информационной логической системы (ИИЛС), к объему и виду ее долговременной и оперативной памяти.

Современные ИИЛС строятся в виде комплекса отдельных элементов и устройств — источников информации: первичных датчиков, регистраторов, систем дистанционной передачи, линий связи, специализированных и универсальных вычислительных машин с устройствами ввода данных, внешних устройств. Все эти устройства согласуются между собой электрически. Однако единый язык обмена информацией между ними пока отсутствует и поэтому даже при автоматизации отдельных процессов ИИЛС в целом оказывается недостаточно эффективной. Например, в современных радиотелеметрических системах особое внимание уделяется каналу синхронизации, помехозащищенность которого должна быть особенно высокой, поэтому 60—75% полосы канала связи затрачивается на передачу служебной информации. При этом структура кадра, т. е. организация информации, оказывается такой, что при обработке результатов радиотелеметрических измерений на универсальных цифровых вычислительных машинах затрачивается более 60% времени и памяти на преобразование информации в форму, принятую в машине.

Другим примером являются многозначные методы точного измерения траекторий, где организация потока измерительной информации такова, что коэффициент трансформации времени обработки на универсальных машинах ко времени измерения лежит в пределах нескольких десятков и даже сотен.

Как известно, автоматизация процессов измерения и обработки результатов не только сокращает ручной труд и уменьшает время получения данных, но, что особенно важно, повышает эффективность результатов, допуская применение более совершенных методов математической и логической обработки, использование всего объема измерительной информации, получение объективных оценок результатов и т. п. Степень или уровень автоматизации ИИЛС определяется местом человека в этой системе. Принято считать, что чем дальше в модели (см. рис. 1) находится человек, тем выше степень автоматизации. Очевидно, можно представить себе полностью автоматизированную ИИЛС, и они существуют, в частности, в контроле и управлении производственными процессами, где без участия человека автоматически выполняются все операции, включая проверку гипотез, выработку решения и передачу управляющих команд.

В практике проведения сложного научного эксперимента-исследования степень автоматизации ограничена тем, что алгоритм обработки совершенствуется, а иногда даже конструируется в процессе проведения исследований. Поэтому автоматизированная ИИЛС часто выгоднее автоматической.

При выборе степени автоматизации ИИЛС необходимо удовлетворение двух условий: освобождение человека от переработки большого объема информации, в частности, от математических операций, и освобождение машины от перебора большого количества решений.

Таким образом, при проектировании ИИЛС необходимо решение следующих задач: 1) рациональное разделение функций между человеком и машиной на основе степени формализации алгоритма измерений и обработки с учетом необходимого времени принятия решения (в темпе проведения эксперимента или по его окончании); 2) разработка методов и форм представления результатов как языка обмена информацией между машиной и человеком. При этом, очевидно, по мере увеличения степени автоматизации следует отдавать предпочтение образам, а не символам, выбирая форму образа, исходя из повышения его

информативности по мере увеличения корреляционных связей между даваемыми им характеристиками.

Существенно ограничивают уровень автоматизации ИИЛС помехи: сигнал, несущий измерительную информацию, подвержен ошибкам вследствие помех или «шума»

$$\bar{e}_i = \bar{e}_{i \text{ изм}} + \bar{e}_{i \text{ шум}}$$

вносимого физическими условиями, при которых происходит эксперимент. Эти шумы могут возникать вследствие различных причин, но они всегда ограничивают достижимую точность и достоверность результатов и оказывают сильное влияние на общее построение ИИЛС — выбор методов измерения, дублирование измерений, методов обработки и т. п. Важнейшая задача обработки состоит в приближении множества  $\{\bar{P}_i\}$  (см. рис. 1) к исходному множеству  $\{P_i\}$ .

Для построения рациональных алгоритмов исключения помех необходимо знание их статистических и спектральных характеристик: операции исключения помех существенно усложняют общий алгоритм и средства обработки, в которых, в свою очередь, появляются помехи, что может существенно ухудшать характеристики ИИЛС в целом.

Повышение степени автоматизации предъявляет особенно высокие требования к правильности работы ИИЛС. Поскольку гипотезы  $H_1$  («объект работает нормально») и  $H_{II}$  («в работе объекта имеются аномалии») выработаны на основе измерения и обработки, а ИИЛС тоже может работать нормально (гипотеза  $H_n$ ) или аномально (гипотеза  $\bar{H}_n$ ), то, следовательно, гипотезы  $H_1$  и  $H_{II}$  условные и из возможных комбинаций  $H_1 H_n$ ,  $H_1 \bar{H}_n$ ,  $H_{II} H_n$  и  $H_{II} \bar{H}_n$  представляют интерес две, отвечающие условным гипотезам  $H_1/H_n$  и  $H_{II}/H_n$ , которые будут иметь место в том случае, если точность ИИЛС в процессе измерений и обработки результатов остается номинальной.

Введем понятие «верность», под которым будем понимать вероятность сохранения точности ИИЛС во время эксперимента неизменной по сравнению с номинальной точностью

$$P\{f(x, y, \dots)_s - f(x, y, \dots)_n\} \leq \gamma.$$

Тогда можно оценивать достоверность работы ИИЛС с помощью аппарата критериев согласия. Однако имея в виду, что  $f(x, y, \dots)$  — в общем случае многомерные функции распределения, использование этого аппарата оказывается практически ограниченным. В качестве упрощенного метода можно рекомендовать переход от оценки вероятности отклонения распределения ошибок к оценке вероятности отклонения числовых характеристик распределения ошибок — математического ожидания, дисперсии и др.; при этом проверку  $P(M_s - M_n)$  можно проводить периодически во время эксперимента, так как положение центра рассеивания учитывает медленно меняющуюся часть ошибок — систематические ошибки; проверку же  $P(D_s - D_n)$  необходимо осуществлять практически в каждом цикле измерения, так как дисперсия характеризует ошибку случайную с широким спектром. Для оценки математического ожидания распределения ошибок могут быть использованы методы дублирования измерений или контроля совместности — сравнения одних и тех же параметров, полученных разными методами измерений (обработки). Одним из аппаратных приемов контроля верности ИИЛС может явиться отображение теста, предусматриваемого в кодовом кадре.

Измерительная информационная логическая система представляет собой единую систему по составу входящих в нее устройств, особенностям внутренних и внешних процессов, в ней происходящих, и с точки зрения управления ею является сложной динамической системой в том понимании, которое придается таким системам в теории больших систем. ИИЛС отличается целостностью в достижении цели, иерархичностью структуры, большим числом различных элементов, большим числом параметров, определяющих поведение системы, сложными нелинейными прямыми и обратными связями, большой степенью автоматизации; наличием людей и машин; случайным характером нагрузки и т. п.

Следовательно, задачи проектирования ИИЛС могут решаться как задачи проектирования больших систем и состоят в выборе структуры системы, оптимальной организации управления, разработке тактики применения, организации цели и организации управления на всех уровнях иерархии.

При этом под оптимальным управлением будем понимать такое, которое обеспечивает максимальную эффективность, т. е. наибольшую вероятность решения поставленной задачи (измерения и обработки результатов) при заданных точности и надежности получения результатов, а также при минимальных затратах.

Функционирование ИИЛС, таким образом, можно описать в терминах теории массового обслуживания, рассматривая ее как систему массового обслуживания, на вход которой поступает статистический поток заявок, а на обслуживание каждой заявки влияют случайные процессы: надежность, организация, помехи и т. п. Аналитические методы теории массового обслуживания ограничены, поэтому в большинстве случаев целесообразно использовать методы статистического моделирования. Существенным при этом является разработка модели ИИЛС и модели измерительной информации, а также методов ее хранения.

*Поступила в редакцию  
27 сентября 1968 г.*