



А.М.Пищухин

## СОГЛАСОВАННОСТЬ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМЫ И МЕТОДЫ ЕЕ ДОСТИЖЕНИЯ

В работе рассмотрен вопрос об одном из главных признаков системности - согласованности составляющих (элементов, взаимосвязей, целей). Предложена классификация видов согласованности, рассмотрен имеющийся математический аппарат для ее описания, а также трудности его использования. Анализ возможностей достижения согласованности в системе привел к выводу о перспективности трех методов: оптимизации, адаптации и селекции. Затронут также вопрос об условиях и областях применения этих методов согласования.

### Введение

Систему обычно определяют, как совокупность элементов и взаимосвязей между ними. С другой стороны, важна также цель, которую ставит исследователь, выделяя ту или иную систему, а также цель, которая достигается самой системой, если она целенаправленная /1/. Кроме того, отдельным элементом необходимо задавать внешнюю для системы среду. Таким образом, элементы, взаимосвязи и цели образуют фундаментальные составляющие системы. Следующим вопросом, предъявляемым выделенной (или созданной) системе является вопрос об ее эффективности. Очевидно, что система будет наиболее эффективной, если ее составляющие максимально согласованы друг с другом.

Связь эффективности систем с согласованностью или несогласованностью ее составляющих не вызывает сомнений и закреплена даже в пословицах и баснях («Из пушки по воробьям», «Лебедь, рак и щука»). С древних времен известно, что хорошо согласованная армия может победить более многочисленную, но менее согласованную. В техническом плане несогласованность управляющей системы с объектом управления выражается в неустойчивости в самой управляющей системе при распараллеливании потоков сигналов может наблюдаться «гонка сигналов», отсутствие координации различных технологических объектов порой приводит к различным нарушениям (заклиниванию механизмов с несколькими приводами) или даже к авариям (несогласованность генераторов в единой энергосистеме) /2/ и т.д.

Систематизация при изучении любого явления требует его классификации. Согласованность, исходя из данного выше определения системы, можно разбить на три больших класса: согласованность элементов и

взаимосвязей, элементов и целей, взаимосвязей и целей. Кроме того, учитывая множественный характер этих составляющих системы можно говорить о согласованности друг с другом элементов, взаимосвязей, а также целей с подцелями.

Согласованность между элементами или взаимосвязями внутри системы является локальной, в то время как согласованность элементов и взаимосвязей со свойствами системы как целого называют глобальной.

Согласованность можно рассматривать в отношении пространства, времени и их комбинации. Тогда можно говорить о согласованности размеров (соразмерность), расположений (сорасположенность) или форм (соответствие форм), одновременности или разнесенности и изменений, развитии (синхронность, синфазность) во времени, взаимодействии или порядке следования каких-либо событий одновременно в пространстве и времени (координированность). Взаимоположение и взаимоподчинение элементов задается иерархической согласованностью (структуризация, организация).

Классификацию можно продолжить в направлении большей конкретизации природы элементов (например, согласованность звуков - созвучие), взаимосвязей, а также содержания целей, однако ограничимся в этой работе приведенным уровнем.

### Локальная согласованность

В /1/ понятие согласованности вводится через функцию поведения, определяемую по формуле

$$f_b : C \rightarrow \{0,1\}$$

где  $C$  - множество возможных состояний переменных системы. Для получения значений фун-

кции поведения для конкретного элемента необходимо находить проекцию функции поведения на множество возможных состояний  $C_x$  переменных, связанных с этим элементом  $S_x$

$$f_b^x = [f_b \downarrow S_x] : C_x \rightarrow \{0,1\}$$

Соединение двух элементов в системе задается совместными переменными, входящими в пересечение множеств переменных этих элементов  $S_x \cap S_y$ . Все это позволяет сформулировать условие локальной согласованности двух элементов системы /1/

$$[f_b^x \downarrow S_x \cap S_y] = [f_b^y \downarrow S_x \cap S_y]$$

Однако требовать полной согласованности элементов не всегда приемлемо, т.к. в этом случае речь идет о синтезе максимально детерминированной и, следовательно, максимально негибкой системы, поэтому заменим предыдущее условие другим

$$[f_b^x \downarrow S_x \cap S_y] - [f_b^y \downarrow S_x \cap S_y] = \Delta(x,y) \leq \Delta_{обн}. \quad (1)$$

где  $\Delta_{обн}$  - допустимая по определенному критерию несогласованность двух элементов.

**Глобальная согласованность**

В этом случае согласованность рассматривается по отношению к системе как единому целому и поэтому, прежде всего, необходимо выяснить характерные свойства целостной системы. С точки зрения систем управления (целенаправленные системы) самым главным свойством составляющих является их соответствие цели, достигаемой системой. Поскольку любая система в некоторой степени может удовлетворять любой цели, можно ввести *характеристику* системы (или ее составляющих) относительно цели обычно определяемую *характеристической функцией*.

$$\omega : X \times X \rightarrow [0,1]$$

где  $X$  – множество систем, отличающихся свойствами, определяющими понятие цели (остальные свойства совпадают),  $\omega(x,x^*)$  - представляет степень соответствия данной системы  $x \in X$  целевой системе (хорошей, идеальной)  $x^* \in X$ . Характеристическую функцию конкретной системы  $x$  можно выразить через расстояния до идеальной и наилучшей в заданном множестве систем.

$$\omega(x,x^*) = 1 - \frac{\Delta(x,x^*)}{\Delta_m(x,y)}$$

где  $\Delta_m(x,y) = \max_{x,y \in X} \Delta(x,y)$ .

Используя аналогичный подход, можно и степень локальной согласованности выразить в виде характеристической функции, при этом понятие идеально согласующегося элемента  $x^*$  выводится из общей цели системы методом декомпозиции

$$\omega(x,x^*) = \frac{\Delta(x,x_{max}) - \Delta(x,x^*)}{\Delta(x,x_{max})}$$

где  $\Delta(x,x_{max}), \Delta(x,x^*)$  - максимальная и имеющаяся в данный момент рассогласованность между элементами и, соответственно,  $x_{max}$  - максимально рассогласованный по отношению к цели системы элемент.

**Синтез линейного регулятора**

Прямое использование предложенных формул наталкивается на трудности даже в случае простейшего линейного регулятора, изображенного на рисунке 1.

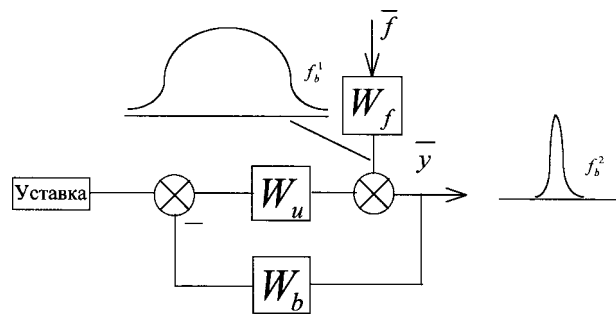


Рисунок 1 Линейный регулятор

Приняв функцию поведения в виде вероятностного распределения сигналов, убеждаемся, что закон сложения дисперсий здесь не применим для функций  $f_b^1, f_b^2/3/$ . Происходит это из-за сильной коррелированности возмущений и управляющего сигнала.

При синтезе системы максимальная с точки зрения достигаемого эффекта согласованность составляющих является целью. Каковы же в таком случае имеющиеся средства достижения этой цели? Таких средств на наш взгляд три: оптимизация, адаптация и селекция.

Оптимизация позволяет достигать согласованности в том случае, когда о системе, влияющих на нее факторах, а также о крите-

риях согласованности известно почти все, тогда можно построить целевую функцию, присоединив к ней имеющиеся ограничения и минимизировать рассогласованность составляющих вычислительными методами.

В случае, когда известен лишь критерий согласованности, но неизвестны или известны неполно условия и ограничения, необходимо синтезировать адаптивную систему, которая во время своего функционирования доведет согласованность до необходимого уровня.

Наконец, в случае, когда не ясны даже критерии согласованности, можно прибегнуть к селекции, т.е. создать несколько систем, проследить за их функционированием, затем выбрать в каком-то смысле лучшую.

Практически локальная согласованность достигается изменением параметров элементов или взаимосвязей, заменой самих элементов или взаимосвязей или вставкой промежуточных согласующих элементов, а также организацией дополнительных взаимосвязей. Глобальная согласованность требует изменения структуры системы или целевых уставок взаимосвязи отдельных элементов с дальнейшим их локальным согласованием.

#### Оптимизация согласованности

Как видно из вышеприведенных рассуждений, согласованность - разносторонний признак системы. Усиление одной из сторон ведет к ослаблению другой, поэтому необходимо искать оптимум, исходя из какого-либо критерия. Рассмотрим простой пример /4/. Объект управления задан уравнением

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = u(t), \quad y(0) = 0 \quad (2)$$

и требуется осуществить при  $t \geq 0$  согласование с процессом

$$y^*(t) = C_0 \overline{I(t)}, \quad C_0 = \text{const},$$

где  $I(t)$  - функция Хевисайда. Критерием согласования в данном случае служит равенство нулю ошибки между реальным и идеальным процессами. Тогда по формуле (2) имеем

$$u(t) = C_0 T \delta(t) + C_0 \overline{I(t)},$$

где  $\delta(t)$  - функция Дирака. Теперь очевидно, что согласование с идеальным процессом ведет к несогласованию с источником управляющего воздействия и требует компромисса в нарастании идеального процесса не бы-

стрее, чем за время  $t_I$  (см. /4 стр. 73/).

$$t_I = \frac{T}{u_{max} / |C_0| - 1}.$$

Однако и это значение может быть не согласовано с исполнительным устройством по условию перегрузки, с объектом управления по условию износа, с экономической системы по условию затратности и т.д.

#### Адаптивная согласованность

В случае, когда зависимость критерия согласованности от управляющих воздействий неизвестна, можно применять пошаговое приближение к оптимуму. Если же не идентифицирован объект управления вводится модель объекта с неизвестными параметрами, на основе наблюдений находятся оценки этих параметров, а затем вычисляется управление, оптимизирующее показатель качества, например по алгоритму Робинса-Монро

$$u[k+1] = u[k] - \gamma_k y[k], \quad y[k] = \nabla J(u[k]) + N[k],$$

где  $k$  - номер шага в процессе адаптации,  $\nabla J$  - вектор градиента критерия согласованности,  $\gamma_k$  - медленно убывающий коэффициент (в соответствии с алгоритмом Робинса-Монро),  $N[k]$  - погрешность наблюдения вектора градиента.

Изменчивое поведение объекта управления и внешних воздействий может потребовать перестройки самой модели или даже структуры системы управления, т.е. другого уровня адаптации - синтеза самоорганизующихся и самообучающихся систем.

#### Селекция согласованных систем

В том случае, когда отсутствует информация даже о критериях согласованности и система не позволяет проводить резких, направленных изменений (например, биологический объект или человек), необходимо прибегать к методу "проб и ошибок", отбирать наиболее жизнеспособные элементы или даже систему в целом, развивать их и снова выбирать лучшие, т.е. прибегнуть к селекции.

В этом случае перспективными могут быть методы теории распознавания образов, позволяющие выявить наиболее согласованный элемент из рассматриваемой группы /5/, например с минимальным риском. При выборе признаков, используемых для распознавания большей согласованности, можно воспользоваться критерием Горелика:

$$F = \frac{R^2(\Omega_p, \Omega_q)}{S(\Omega_p)S(\Omega_q)},$$

где  $R(\Omega_p, \Omega_q)$  - характеризует среднеквадратичное расстояние между классом систем с хорошей согласованностью  $\Omega_p$  и неприемлемой  $\Omega_q$ , а  $S(\Omega_p)$  и  $S(\Omega_q)$  - среднеквадратичный разброс систем внутри этих двух классов.

Используя рассмотренные методы, можно предложить следующую методику синтеза согласованной системы:

1) провести исследование некоторого множества составляющих системы и выявить лучшие, применяя критерий Горелика, определить признаки наиболее далеко разносящие “плохие” составляющие от “хороших”;

2) на основе найденных признаков сформулировать критерии и синтезировать адаптивные системы;

3) детальное исследование функционирования последних позволит выявить все недостающие сведения для постановки и решения строгой задачи оптимизации согласованности.

---

#### Список использованной литературы

- 1 Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач.-М.: Радио и связь, 1990.-544 с.
- 2 Бойчук Л.М. Синтез координирующих систем автоматического управления.- М.: Энергоатомиздат, 1991 г. - 160 с.
- 3 Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей.-М.:Наука, 1988ю-448с.
- 4 Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления.-М.:Наука, 1986 г.- 616 с.
- 5 Горелик А.Л., Гуревич И.Б., Скрипкин В.А. Современное состояние проблемы распознавания: некоторые аспекты.-М.:Радио и связь, 1985.-160 с.

Статья поступила в редакцию 20.07.99.