

УДК 658.562

С.И. Кондрашов, Т.В. Дроздова

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

## КОНЦЕПЦИЯ «ЛИНЕЙНОЙ» КООРДИНАЦИИ СЛОЖНОЙ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

*В статье рассматривается проблема координирования сложной двухуровневой системы в случае, когда ставится цель только улучшить качество работы системы, не стремясь достигнуть «глобального оптимума». Проводится анализ «линейной» координации с позиций общей теории систем. Также исследуется координируемость и ее условия при использовании эталонного управляющего воздействия. Осуществлено исследование вопросов координируемости и «удовлетворительного» управления в условиях неопределенности и нечеткости данных. Рассматривается общий подход к последовательной координации с адаптацией.*

**Ключевые слова:** линейная координация, последовательная координация, теория систем, «образ» качества, иерархическая система, управляющее воздействие, локальный решающий элемент.

### Постановка задачи

При рассмотрении сложных многоуровневых систем часто приходится отказываться от требования строгой оптимальности управляющих решений. Это связано с тем, что в практических ситуациях строгий оптимум оказывается нереализуемым вследствие недостаточности информации, ограничений во времени или ограниченных возможностей локальных решающих элементов. При постановке задачи координации двухуровневой системы мы исходим из предположения о том, что локальные решающие элементы существуют и отвечают за управление подпроцессами. В то же время прямая задача координатора состоит в том, чтобы «согласовать» деятельность локальных решающих элементов в процессе выработки ими своих решений с целью повышения суммарного эффекта их действий. Следовательно, показатель эффективности координатора основывается на некоторой мере улучшения работы системы в целом, а не на факте достижения «глобальной» оптимальности.

При нахождении практического способа осуществления координации для улучшения глобальных характеристик системы возникают два тесно связанных между собой вопроса:

1. Каким образом координатор влияет на выбор локальными решающими элементами соответствующих управляющих воздействий, чтобы эти элементы вырабатывали в будущем такие решения, приводящие к улучшению глобальных характеристик всего процесса уже без вмешательства координатора?

2. Если задан интервал времени, на протяжении которого координатор может воздействовать на поведение функции качества системы, какова должна быть его стратегия для монотонного улучшения

глобальных характеристик системы как конечного результата его деятельности?

Решение первого вопроса дает указания для выбора стратегии при решении второго вопроса и предполагает введение понятия «линейной» и последовательной координации [1].

### Концепция «линейной» координации с позиций общей теории систем

Под «линейной» координацией подразумевается координация, когда после каждого момента координирования локальные решающие элементы применяют к процессу свои управляющие воздействия без дальнейшего вмешательства координатора. В случае «корректировки» подаваемых координирующих воздействий в определенные (последовательные) промежутки времени, такая стратегия будет носить название последовательной координации.

В [2] введено понятие «наблюдателя качества» как подсистемы автоматизированной системы контроля и управления качеством с двухуровневой структурой иерархии, определены основные задачи на каждом из уровней. Основную задачу второго уровня (задачу координации локальных систем первого уровня) для формирования «образа» качества, являющегося основным фактором, характеризующим трудоспособность «наблюдателя качества» в общем и каждого его уровня отдельно, можно описать следующей функцией импликации:

$$\exists S_i \{ [P_i, \xi_i, s_i] = v_i \Rightarrow z_i \}, \quad (1)$$

то есть существуют такие координирующие меры  $s_i \in S_i$ , которые при значениях параметров объекта  $p_i \in P_i$  и некоторых возмущениях  $\xi_i \in \zeta_i$ , способны образовывать управляющие воздействия  $v_i \in V_i$ , с

помощью которых достигаются цели  $z_i \in Z_i$  в некоторый момент времени  $t_i$ . В такой форме функция импликации описывает функциональную задачу координации, но совершенно не отражена метрологическая сторона этого процесса [2, 3].

### Координируемость при использовании эталонного управляющего воздействия

Эталонное управляющее воздействие может быть выбрано самим координатором или им может служить управляющее воздействие, подаваемое на процесс в отсутствие координации.

Рассмотрим случай, когда функцию глобальной цели системы можно описать в терминах нечеткой логики с помощью обобщенной модели функции принадлежности.

Пусть функция цели определяется только качеством нечетких показателей объекта  $x_1$  и  $x_2$ ,  $x_1 \in X_1$ ,  $x_2 \in X_2$ . Причем, значение параметра функции цели  $Z = X_1 \wedge X_2$ , а эталонное значение  $Z^\circ = X_1^\circ \wedge X_2^\circ$ .

Задача координации в данном случае заключается в следующем: необходимо такое управление параметрами  $x_1$  и  $x_2$ , при котором отклонение реального значения  $z$  от эталонного  $z^\circ$  было бы минимальным, т.е. чтобы обеспечить

$$\min f = Z - Z^\circ.$$

Можно показать, что функция принадлежности в этом случае может быть записана в виде

$$\mu_Z(z) = \begin{cases} 1, z \leq z_{\min}, \\ \frac{z_{\max} - z}{z_{\max} - z_{\min}}, z_{\min} < z < z_{\max}, \\ 0, z \geq z_{\max}. \end{cases} \quad (2)$$

В выражении (2):

$$z_{\max} = x_{1\max} \cdot x_{2\max},$$

$$z_{\min} = x_{1\min} \cdot x_{2\min},$$

$$z_{\min} < z^\circ < z_{\max}.$$

Таким образом, можно определить функцию принадлежности цели  $\mu_Z(z)$  по заданным подмножествам нечетких параметров  $X_1$  и  $X_2$ . Измеряя отклонения параметров  $x_1$  и  $x_2$  от заданных, можно оценить изменение целевой функции во времени и внести необходимые корректирующие воздействия в процесс [3]. Эти локальные задачи представляют собой так называемые задачи «удовлетворительного» управления, поскольку в них требуется не достижение оптимальных значений функций каче-

ства, а лишь получение удовлетворительного уровня значений этих функций при наличии некоторой неопределенности.

Рассматривая вопрос о постановке локальных задач, можно перейти к более общему случаю, когда значения параметров объекта не фиксированы, а заданы некоторые диапазоны, в которых эти параметры будут меняться. Такие диапазоны и будут характеризовать ту неопределенность, которая имеет место при решении локальных задач.

При применении изложенной концепции координируемости возникает трудность, состоящая в том, что после того, как к локальным решающим элементам поступит эталонное управление  $v_i^\circ$  и координирующий сигнал  $s_i$ , координатор должен располагать сформированными функциями цели  $z_i \in Z_i$  и  $z_i^\circ \in Z_i^\circ$  и иметь возможность сравнивать эти значения для каждого возмущения (множества неопределенностей)  $\xi_i \in \zeta_i$  или того  $\xi_i$ , которое фактически имеет место, чтобы установить получено ли действительно улучшение. Для этого желательно иметь простой тест, который позволял бы определять, скоординирована ли двухуровневая система или нет. Поэтому следует рассмотреть принцип координации, который основан на взаимодействии, имеющем место между локальными элементами управления после того, как к процессу приложено выбранное управление.

### Последовательная координация с адаптацией

Подход, предложенный выше, легко использовать для построения последовательной многоэтапной процедуры координации. На любом этапе система координируется таким образом, чтобы было возможно улучшение глобальных характеристик, а значит улучшение «образа» качества системы. При этом управление, имевшее место на предыдущем этапе или непосредственно выступает за эталонное для следующего этапа, или предопределяет его. Эффективность последовательной координации будет зависеть от выбираемой на каждом этапе локальной задачи.

Рассмотрим применение последовательной координации, когда моменты времени, в которые координатор вмешивается в действия локальных решающих элементов, образуют последовательность  $t_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ .

Через  $v_i$  будем обозначать управляющее воздействие, выбранное локальным решающим элементом и применяемое им начиная с момента координирования  $t_i$ . В следующий момент координирования  $t_{i+1}$  в качестве эталонного управления  $v_{i+1}^\circ$  на

оставшемся интервале времени  $[t_{i+1}, t_n]$  берется управление  $v_i$ .

Если система координируема при использовании  $v_{i+1}^{\circ}$ , существует такое  $v_{i+1}^{\circ}$ -приемлемое координирующее воздействие  $s$ , что выработанное в момент координации  $t_{i+1}$  новое управление  $v_{i+1}$  будет  $s$ -предпочтительнее, чем  $v_{i+1}^{\circ}$ .

Если такая система остается координируемой на всем временном интервале координирования, а окружающая среда не меняется, то глобальные характеристики системы («образ» качества) будет непрерывно улучшаться.

В интервал времени между моментами координирования  $t_i$  и  $t_{i+1}$  координатор не имеет возможности вмешиваться в управление процессом. В течение этого времени возможно осуществить попытку уменьшения неопределенности и уточнить оценочные диапазоны для связующих входов и внешних возмущений.

### Выводы

Понятие координации с целью улучшения характеристик работы системы отражает реальные ситуации во многих областях человеческой деятельности, а, следовательно, может быть применимо при организации оценивания качества сложных слабоформализуемых систем.

Процедура последовательной координации может быть использована в качестве итерационного метода, позволяющего повысить характеристики системы до нужного уровня в пределах ее возмож-

ностей и условиях неопределенности. Преимущество такой процедуры заключается в монотонности улучшения глобальных характеристик, и эта особенность желательна при использовании «линейной» координации.

Отметим, что процедура последовательной координации как частного случая «линейной» координации удобна, когда присутствуют внешние возмущения или некоторый фактор неопределенности исходных данных.

Главной трудностью в предложенном методе координации является трудность установления приемлемых оценочных диапазонов и решение локальных задач.

### Список литературы

1. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
2. Кондрашов С.И. «Наблюдатель качества» в динамических системах контроля и управления / С.И. Кондрашов, Т.В. Дроздова // «Метрологія та прилади»: науково-виробничий журнал. Тематичний випуск. №2 II (41) 2013. – Харків, Одеса, 2013. – С. 126-130.
3. Диденко К.И. Метрологический наблюдатель в системах контроля и управления / К.И. Диденко, С.И. Кондрашов // «Український метрологічний журнал». – X, 1997. – № 2. – С. 44-47.

Поступила в редколлегию 11.12.2014

Рецензент: канд. техн. наук, проф. В.К. Гусельников, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков.

### КОНЦЕПЦІЯ "ЛІНІЙНОЇ" КООРДИНАЦІЇ СКЛАДНОЇ ІЄРАРХІЧНОЇ СИСТЕМИ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

С.І. Кондрашов, Т.В. Дроздова

*У статті розглядається проблема координування складної дворівневої системи у випадку, коли ставиться мета тільки поліпшити якість роботи системи, не прагнучи досягти "глобального оптимуму". Проводиться аналіз "лінійної" координації з позицій загальної теорії систем. Також досліджується координуємість і її умови при використанні еталонного керуючого впливу. Здійснене дослідження питань координуємість "задовільного" керування в умовах невизначеності і нечіткості даних. Розглядається загальний підхід до послідовної координації з адаптацією.*

**Ключові слова:** лінійна координація, послідовна координація, теорія систем, "образ" якості, ієрархічна система, вплив, що управляє, локальний вирішальний елемент.

### THE CONCEPT OF "LINEAR" COORDINATION OF COMPLEX HIERARCHICAL SYSTEMS UNDER UNCERTAINTY

S.I. Kondrashov, T.V. Drozdova

*In the article the problem of coordinating a complex two-tier system when the aim is only to improve the quality of the system, without seeking to achieve "global optimum" is considered. "Linear" coordination from the standpoint of the general theory of systems is analyzed. Also coordination and conditions using a standard control action are investigated. The issue of coordinated and "satisfactory" management under uncertainty and fuzzy data is explored. A general approach to serial coordination with adaptation is considered.*

**Keywords:** linear coordination, serial coordination, theory of systems, "image" of quality, hierarchical system, the control action, the local critical element.