

СИНТЕЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С МИКРОЯДЕРНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ

Ал.В. Яковлев, Ан.В. Яковлев, С.В. Петренко

*Тамбовское высшее военное авиационное инженерное училище радиоэлектроники
(военный институт), г. Тамбов;*

ГОУ ВПО «Липецкий государственный педагогический университет», г. Липецк

Рецензент В.Е. Подольский

Ключевые слова и фразы: коэффициент эмерджентности; микроядро; множество элементов; расположение уровней; системный эффект; функциональные свойства.

Аннотация: Представлена системная структурно-морфологическая модель задач, решаемых АСУ специального назначения, позволяющая описать ее с различных сторон с заданными уровнями абстрагирования, обусловленными целями оценивания функциональных свойств. Предложено выделить микроядро системы с минимальным набором функций. В архитектуре с микроядром традиционное вертикальное расположение уровней заменяется горизонтальным. Выделение микроядра предлагается производить на основе анализа коэффициента эмерджентности, представляющего собой относительное превышение количества информации о системе при учете системных эффектов над количеством информации без учета системности.

Введение

По современным представлениям о перспективах развития автоматизированных систем управления, одним из наиболее радикальных методов повышения эффективности применения имеющихся сил и средств является комплексная автоматизация процессов управления на всех уровнях: стратегическом, оперативном и тактическом.

Понятие «система» определяется через понятие «множество» и выделение ряда специфических признаков и выглядит следующим образом [1, 2]: система представляет собой множество элементов, объединенных в целое за счет взаимодействия элементов друг с другом и обеспечивающих преимущества в достижении целей.

Преимущества в достижении целей обеспечивает системный эффект, состоящий в том, что возникающие в системе эмерджентные свойства не сводятся к сумме свойств ее отдельных элементов.

Критерием выбора элементов системы являются их системообразующие свойства, то есть свойства, которые образуют целесодействующие связи при функционировании системы. Эмерджентность – это следствие проявления, как минимум, трех факторов [3]: резкого нелинейного усиления ранее малозаметного свойства; непредсказуемого разделения какой-либо подсистемы; рекомбинации связей между элементами.

Для того чтобы понять, какие свойства элементов следует считать системообразующими, надо предварительно произвести анализ системы (функции, цели), чтобы адекватно ее расчленять. Уровень системности тем выше, чем выше интенсивность взаимодействия элементов системы друг с другом.

Суть философии, лежащей в основе использования микроядра, заключается в том, что в нем должны быть реализованы самые важные функции системы, работа остальных подсистем, не являющихся критическими, выполняется в режиме обслуживающих процессов (сервисов). В архитектуре с микроядром традиционное вертикальное расположение уровней заменяется горизонтальным [3].

Сервисы взаимодействуют между собой как равноправные партнеры. Обычно взаимодействие реализуется с помощью обмена сообщениями, при этом микроядро выступает в роли посредника: оно подтверждает правильность сообщений, передает их от одного компонента другому и предоставляет доступ к аппаратному обеспечению, кроме того, микроядро выполняет защитные функции. Каждый из серверов может отправлять сообщения другим серверам и обращаться к элементарным функциям микроядра [4].

К достоинствам использования микроядра можно отнести: единообразные интерфейсы, расширяемость, гибкость, переносимость, надежность, поддержку распределенных и объектно-ориентированных систем.

В микроядро должны входить те функции, которые непосредственно зависят от аппаратного обеспечения, а также те, которые нужны для поддержки сервисов и приложений. Следует рассматривать следующие основные реализующие соответствующие функции системы сервисы: взаимодействия; процессов; прикладные; информационные; доступа. Помимо основных сервисов в состав системы могут входить группы вспомогательных сервисов: сервисы разработки, сервисы управления и мониторинга, инфраструктурные сервисы [4].

Для того чтобы реализовать концепцию микроядра сервисы всех групп логической модели программируются как сервисные компоненты, которые обмениваются сервисными данными и иницируются средствами сервисной шины.

Синтез системной математической модели задач, решаемых автоматизированной системой управления

Анализ литературы [5] показывает, что в общем случае вся совокупность задач, решаемых АСУ специального назначения (АСУ СН), может быть представлена в виде дерева.

Пусть Z – глобальная задача, решаемая АСУ СН, определяющая назначение системы в целом и находящаяся на верхнем уровне иерархии, т.е. является корнем дерева Δ^N задач, решаемых системой.

Место произвольной задачи в дереве задач целесообразно определить номером u^N уровня иерархии (декомпозиции) [6], значение которого изменяется в диапазоне $[0, U^N]$, т.е. $u^N = 0, U^N$.

Задача Z находится на уровне декомпозиции $u^N = 0$. На следующем уровне декомпозиции $u^N = 1$ размещается множество частных задач, решение которых обеспечивает достижение глобальной цели АСУ СН и так далее. Глобальная задача и задачи первого уровня могут быть представлены в следующем виде:

$$Z = \{Z_1, i1=1, I1\}; \quad Z_{i1} = \{Z_{i1, i2_{i1}}, i1=1, I1, i2_{i1}=1, I2_{i1}\} \quad (1)$$

На рис. 1 представлен общий вид дерева Δ^N задач, решаемых АСУ СН.

Анализ дерева задач показывает, что оно описывает подчиненность функциональных единиц, обеспечивающих решение целевых задач. Для уточнения связей подчиненных узлов дерева целесообразно использовать схемно-математическое описание их информационного взаимодействия, то есть морфологию системы (морфология решения задачи) [7].

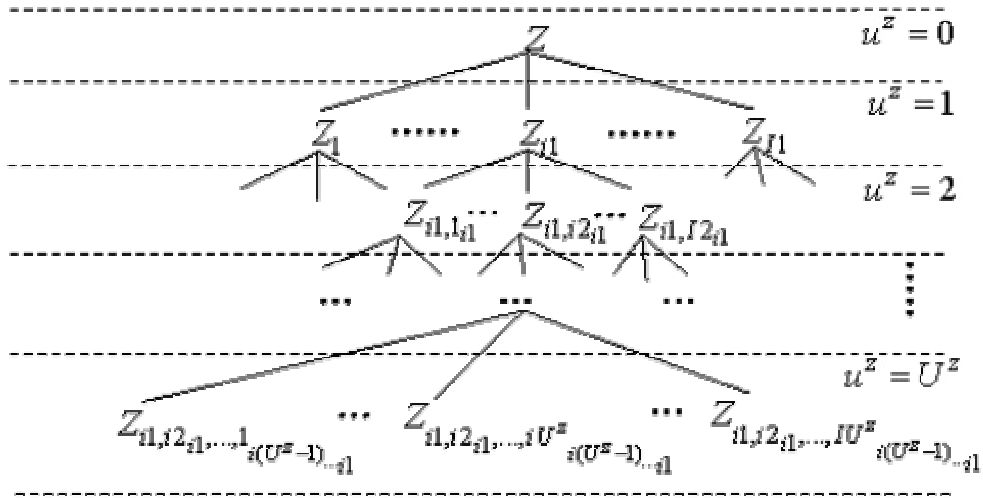


Рис. 1. Схема декомпозиции задач

При описании морфологии решения произвольной целевой задачи $Z_{i1,i2i1,...,iu^Z_{i2i1}}$ процесс ее решения можно представить как абстрактную систему $P^Z_{i1,i2i1,...,iu^Z_{i2i1}}$, которая описывается отношением (2) над пространствами входов $X^Z_{i1,i2i1,...,iu^Z_{i2i1}}$ и выходов $Y^Z_{i1,i2i1,...,iu^Z_{i2i1}}$ задачи $Z_{i1,i2i1,...,iu^Z_{i2i1}}$ [7, 8]:

$$Z_{i1,i2i1,...,iu^Z_{i2i1}} \Rightarrow P^Z_{i1,i2i1,...,iu^Z_{i2i1}} \subseteq X^Z_{i1,i2i1,...,iu^Z_{i2i1}} \times Y^Z_{i1,i2i1,...,iu^Z_{i2i1}}. \quad (2)$$

Для удобства формализации опустим нижние индексы $i1,i2i1,...,iu^Z_{i2i1}$, обозначив их через Z_k . Тогда выражения (1) и (2) могут быть записаны:

$$Z = \{Z_k, k=1, \overline{K}\}, \quad (3)$$

$$P^Z \subset X^Z \times Y^Z; P^Z_k \subset X^Z_k \times Y^Z_k, \quad (4)$$

где

$$X^Z = \{x^Z_i, i=1, \overline{I}\}; X^Z_k = \{x^Z_{k,i_k}, i_k=1, \overline{I_k}\};$$

$$Y^Z = \{y^Z_j, j=1, \overline{J}\}; Y^Z_k = \{y^Z_{k,j_k}, j_k=1, \overline{J_k}\}.$$

Схема информационного взаимодействия подчиненных задач представлена на рис. 2.

Для математического описания связей подчиненных задач при решении целевой задачи Z последовательно рассмотрим структуры множеств их входов X^Z_k и выходов Y^Z_k , а также связь с множествами входов X^Z и выходов Y^Z задачи Z .

Множество входов X^Z_k можно представить в виде двух непересекающихся подмножеств: подмножества «внешних входов» X^{Z-ex}_k и подмножества «внутренних входов» X^{Z-in}_k . В общем случае можно записать:

$$X^Z_k = (X^{Z-ex}_k, X^{Z-in}_k); X^{Z-ex}_k \subseteq X^Z; X^{Z-in}_k \not\subseteq X^Z;$$

$$X^{Z-ex}_k \cup X^{Z-in}_k = X^Z_k; X^{Z-ex}_k \cap X^{Z-in}_k = \emptyset;$$

$$\bigcup_{k=1}^K X_k^{s-ex} = X^s, \bigcup_{k=1}^K X_k^{s-in} = X_k^{s-in}, \quad (5)$$

где

$$X_k^{s-ex} = \left\{ X_{k, I_k^{s-ex}}^{s-ex}, k-1, K, i_k^{s-ex} = 1, I_k^{s-ex} \right\},$$

$$X_k^{s-in} = \left\{ X_{k, I_k^{s-in}}^{s-in}, k-1, K, i_k^{s-in} = 1, I_k^{s-in} \right\}. \quad (6)$$

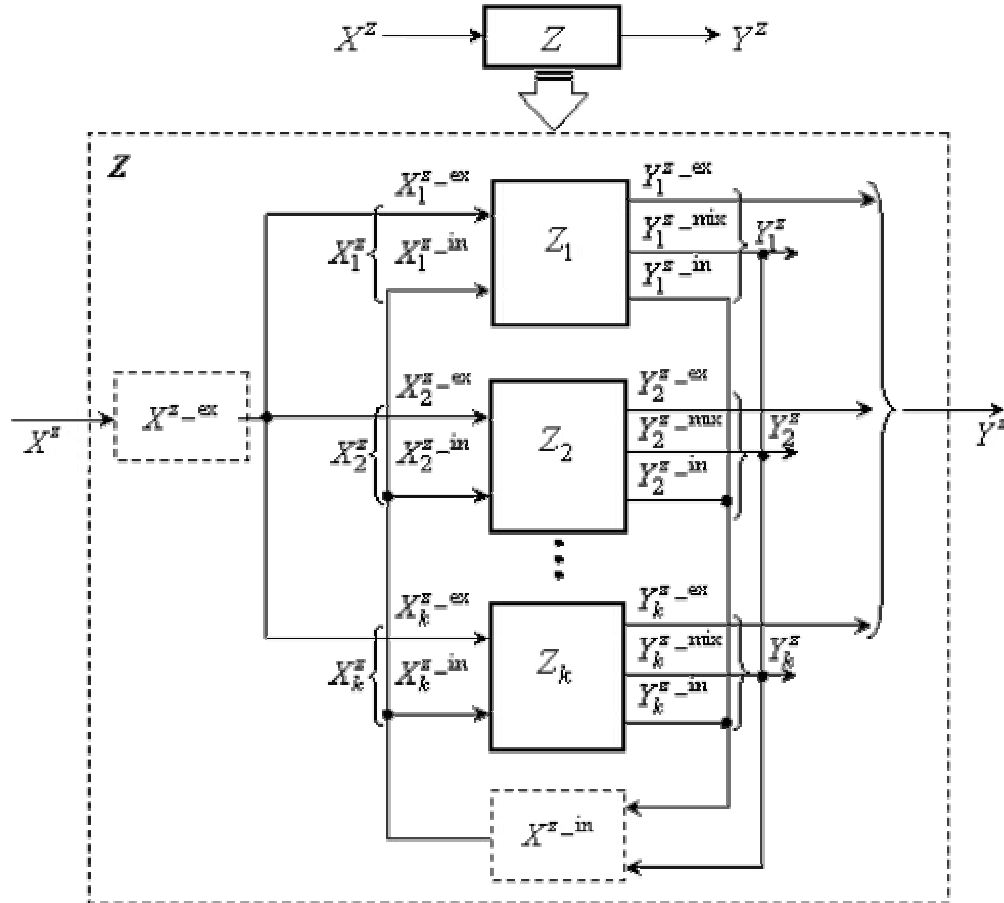


Рис. 2. Схема информационного взаимодействия подзадач в процессе решения задачи

Следует отметить, что результатами пересечений, $\bigcap_{k=1}^K X_k^{s-ex}$ и $\bigcap_{k=1}^K X_k^{s-in}$ не обязательно будут пустые множества, так как отдельные элементы множеств «внешних» и «внутренних» входов подзадач могут совпадать.

Рассмотрим структуру множества выходов Y_k^s подзадачи Z_k . Его можно представить в виде трех попарно непересекающихся подмножеств: Y_k^{s-ex} – подмножества «внешних выходов», элементы которого являются выходами задачи Z и не являются входами других подзадач; Y_k^{s-in} – подмножества «внутренних выходов», чьи элементы являются входами других подзадач и не являются выходами задачи Z ; Y_k^{s-mix} – подмножества «смешанных выходов», элементы которых одновременно являются входами других подзадач и выходами задачи Z . Тогда можно записать:

$$\begin{aligned}
Y_k^{s-\text{ex}} \cap Y_k^{s-\text{in}} &= \emptyset, Y_k^{s-\text{ex}} \cap Y_k^{s-\text{mix}} = \emptyset, Y_k^{s-\text{mix}} \cap Y_k^{s-\text{in}} = \emptyset, \\
Y_k^{s-\text{ex}} \cup Y_k^{s-\text{mix}} \cup Y_k^{s-\text{in}} &= \{Y_k^{s-\text{ex}}, Y_k^{s-\text{mix}}, Y_k^{s-\text{in}}\} = Y^s, \\
\bigcup_{k=1}^K (Y_k^{s-\text{in}} \times Y_k^{s-\text{mix}}) &= X_k^{s-\text{in}}, \bigcup_{k=1}^K (Y_k^{s-\text{ex}} \times Y_k^{s-\text{mix}}) = Y^s,
\end{aligned} \tag{7}$$

где

$$\begin{aligned}
Y_k^{s-\text{ex}} &= \{Y_{k,j_k^{s-\text{ex}}}^{s-\text{ex}}, k=1, K, j_k^{s-\text{ex}}=1, J_k^{s-\text{ex}}\} \subseteq Y^s, \\
Y_k^{s-\text{mix}} &= \{Y_{k,j_k^{s-\text{mix}}}^{s-\text{mix}}, k=1, K, j_k^{s-\text{mix}}=1, J_k^{s-\text{mix}}\} \subseteq Y^s, \\
Y_k^{s-\text{in}} &= \{Y_{k,j_k^{s-\text{in}}}^{s-\text{in}}, k=1, K, j_k^{s-\text{in}}=1, J_k^{s-\text{in}}\} \subsetneq Y^s.
\end{aligned} \tag{8}$$

Из выражения (7) видно, что подмножества «внутренних выходов» $Y_k^{s-\text{in}}$ и подмножества «смешанных выходов» $Y_k^{s-\text{mix}}$ дают подмножества «внутренних входов» $X_k^{s-\text{in}}$.

Формирование элементов множества $X_k^{s-\text{ex}}$ можно представить как отбор из множества X^s таких его элементов $X_{i^s}^s$, которые являются входными воздействиями $X_{k,j_k^{s-\text{ex}}}^{s-\text{ex}} \in X_k^{s-\text{ex}}$ подзадачи Z_k .

Следует отметить, что для $Q_k^{s-\text{ex}} = \|q_{i^s, j_k^{s-\text{ex}}}^{s-\text{ex}}\|$ – отображение формирования «внешних входов» $(X_{i^s}^s \in X^s, X_{k,j_k^{s-\text{ex}}}^{s-\text{ex}} \in X_k^{s-\text{ex}})$ k -й подзадачи и для каждой пары справедливо соотношение

$$q_{i^s, j_k^{s-\text{ex}}}^{s-\text{ex}} = \begin{cases} 1, & \text{если } X_{i^s}^s = X_{k,j_k^{s-\text{ex}}}^{s-\text{ex}}; \\ 0, & \text{если } X_{i^s}^s \neq X_{k,j_k^{s-\text{ex}}}^{s-\text{ex}}. \end{cases} \tag{9}$$

где запись вида $X_{i^s}^s = X_{k,j_k^{s-\text{ex}}}^{s-\text{ex}}$ означает, что i -й вход задачи Z является $j_k^{s-\text{ex}}$ -м входом подзадачи Z_k , а записью $X_{i^s}^s \neq X_{k,j_k^{s-\text{ex}}}^{s-\text{ex}}$ описывается противоположный случай.

Если множества $X_k^{s-\text{ex}}$ и X^s – векторы-столбцы размерности, соответственно, $I_k^{s-\text{ex}}$ и I^s , то

$$X_k^{s-\text{ex}} = Q_k^{s-\text{ex}} \cdot X^s, \tag{10}$$

где $Q_k^{s-\text{ex}}$ – матрица размерностью $I_k^{s-\text{ex}} \times I^s$.

Аналогично формируются элементы множества $X_k^{s-\text{in}}$. Из множеств $Y^{s-\text{in}}$ и $Y^{s-\text{mix}}$ отбираются, используя семейство $Q_k^{s-\text{in}} = \|q_{i^s, j_k^{s-\text{in}}}^{s-\text{in}}\|$ формирования «внутренних входов» (см. рис. 2), такие его элементы $Y_{j^s-\text{in}}^s$ и $Y_{j^s-\text{mix}}^s$, которые будут являться входными воздействиями $X_{k,j_k^{s-\text{in}}}^{s-\text{in}} \in X_k^{s-\text{in}}$ подзадачи Z_k :

$$\forall (y_{j,s_in} \in Y^{s_in}, y_{j,s_min} \in Y^{s_min}) \exists q_{j,s_in,j_k^{s_in}} = \begin{cases} 1, & \text{если } y_{j,s_in(min)} = y_{k,j_k^{s_in(min)}}^{s_in(min)}; \\ 0, & \text{если } y_{j,s_in(min)} \neq y_{k,j_k^{s_in(min)}}^{s_in(min)}; \end{cases} \quad (11)$$

$$X_k^{s_in} = Q_k^{s_in} \cdot (Y^{s_in} \times Y^{s_min}). \quad (12)$$

Анализ соотношений (5)–(8) показывает, что они описывают структуры множеств входов X_k^s и выходов Y_k^s подчиненных задач Z_k , обеспечивающих решение рассматриваемой целевой задачи Z , а выражения (9)–(12) – описывают правила формирования элементов множеств входов X_k^s и выходов Y_k^s , то есть морфологическое описание информационного взаимодействия подчиненных задач Z_k в процессе решения целевой задачи Z .

Следуя [7, 8], выражения (5)–(12), описывающие морфологию решения целевой задачи, можно представить в виде композиции

$$P^s = \circ_{k=1}^K P_k^s, \quad (13)$$

где операция соединения « $\circ$ » определяется соотношениями (2)–(12).

Возвращаясь теперь к исходным обозначениям [см. выражение (2)], для рассматриваемого случая получаем:

$$P_{i1,i2i1,\dots,i2i1}^s = \overset{I(u^s+1)_{i2i1}}{i(u^s+1)_{i2i1}=1} \circ P_{i1,i2i1,\dots,i(u^s+1)_{i2i1}}^s. \quad (14)$$

Последовательное применение выражения (13) ко всем узлам дерева Δ^s задач позволяет получить обобщенную модель P^s решения всей совокупности задач, выполняемых автоматизированной системой управления.

Дерево Δ^s декомпозиции и морфология решения задач образуют структурно-морфологическую модель задач, решаемых АСУ СН [6]:

$$M^s = \langle \Delta^s, P^s \rangle, \quad (15)$$

где Δ^s – структура задач АСУ СН, а P^s – их морфология.

Решение общей и (или) частных задач, решаемых АСУ СН, осуществляется с помощью программного обеспечения (ПО) из состава системы [6].

Как и при разработке системной модели задач, решаемых АСУ СН, вся совокупность ПО системы может быть представлена в виде дерева программного обеспечения АСУ СН – Δ^s (символ s – от «software»).

Общая схема дерева Δ^s программных средств аналогична, представленной на рис. 1, схеме дерева Δ^s задач. Соотношения, описывающие морфологию ПО АСУ СН, аналогичные выражениям (3)–(15), в которых нижними индексами нумеруются узлы дерева Δ^s , а символы « z » и « Z » заменяются на « s » и « S », соответственно.

Тогда системная структурно-морфологическая модель ПО АСУ СН может быть записана в виде выражения (16)

$$M^s = \langle \Delta^s, P^s \rangle, \quad (16)$$

где Δ^s – структура ПО АСУ СН; P^s – морфология ПО системы.

Представленное описание не позволяет оценивать количественно эффект проявления эмерджентных свойств системного программного обеспечения. Вместе с тем, в работе [2] получено выражение для коэффициента эмерджентности (17), позволяющее осуществлять ее количественную оценку

$$\varphi = \frac{\log_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\log_2 W}, \quad (17)$$

где W – количество элементов в системе; m – сложность смешанных состояний; M – максимальная сложность смешанных состояний.

Вид выражения для коэффициента эмерджентности (17) представляет собой относительное превышение количества информации о системе при учете системных эффектов (смешанных состояний, иерархической структуры ее подсистем и т.п.) над количеством информации без учета системности, то есть этот коэффициент отражает уровень системности объекта.

Исследование соотношения (17), позволяет сделать вывод, что в процессе развития систем есть два этапа [2, 3]:

1) происходит экстенсивный рост системы путем увеличения размера системы и количества элементов в ней;

2) развитие системы идет интенсивно за счет усложнения взаимосвязей между элементами и своей структуры, то есть повышения эмерджентности системы.

Результаты исследования соотношения (17) приведены на рис. 3.

Применение средств инфлюэнтного анализа позволяет определить минимальное количество элементов и связей между ними, при которых система способна функционировать и достигать целей. Эта совокупность элементов и связей между ними образует микроядро системы. В реальных системах осуществляются не все формально возможные сочетания элементов i -го уровня иерархии, так как существуют различные правила запрета для разных подсистем [6].

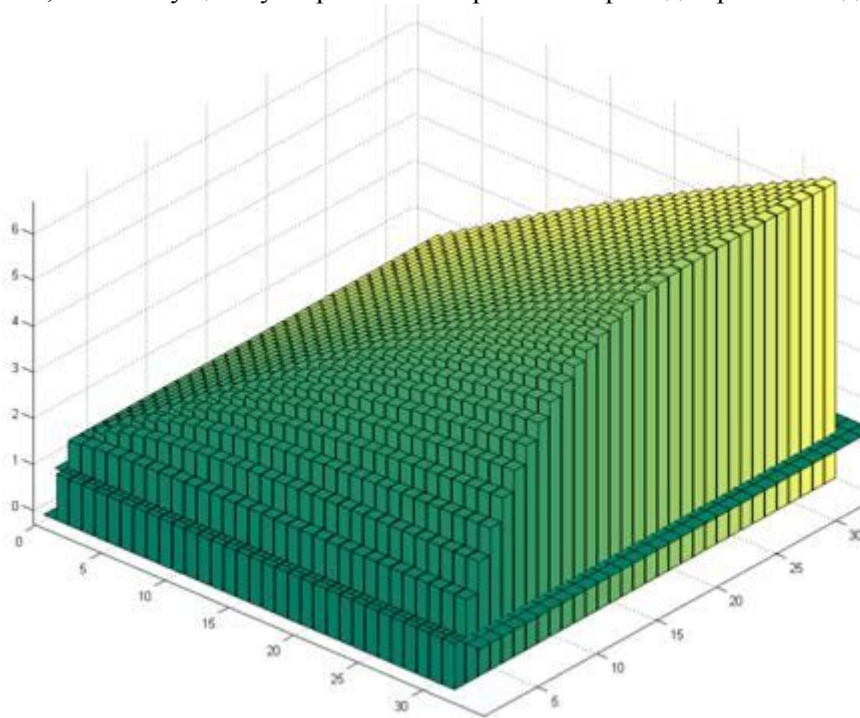


Рис. 3. Зависимость коэффициента эмерджентности от количества элементов в системе и сложности смешанных состояний

Создание нового класса информационных систем, которые являются слабосвязанными внутри, становится актуальным. Поведение такого рода систем в корне отличается от поведения привычных монолитных конфигураций, что проявляется, прежде всего, при сбоях.

Несмотря на то что сервисы слабо связаны, распределены логически и могут использоваться разными процессами, тем не менее выход из строя одного сервиса может повлиять на работу других. Однако обнаружить неисправность, в отличие от монолитной системы, можно будет только тогда, когда возникнет обращение к этому сервису. Поэтому, инфраструктура системы на основе микроядра должна быть построена так, чтобы она сама могла обнаруживать собственные неисправности и по возможности исправлять их, осуществляя доступную переконфигурацию.

Заключение

Таким образом, в статье представлена системная структурно-морфологическая модель задач, решаемых АСУ специального назначения, позволяющая описать ее с различных сторон с заданными уровнями абстрагирования, обусловленными целями оценивания функциональных свойств.

Предложено выделить микроядро системы с минимальным набором функций, заменив в архитектуре с микроядром традиционное вертикальное расположение уровней горизонтальным. Выделение микроядра предлагается производить на основе анализа коэффициента эмерджентности, представляющего собой относительное превышение количества информации о системе при учете системных эффектов (смешанных состояний, иерархической структуры ее подсистем и т.п.) над количеством информации без учета системности.

Список литературы

1. ОСТ ВШ 01.002–95. Информационные технологии в высшей школе. Официальные термины и понятия. Термины и определения. – Введ. 01.03.96. – М. : Госкомвуз, 1995. – 24 с.
2. Симанков, В.С. Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов / В.С. Симанков, Е.В. Луценко. – Краснодар : Изд-во КубГТУ, 1999. – 318 с.
3. Яковлев, А.В. Влияние эмерджентности на организацию систем / А.В. Яковлев // Вест. ТВВАИУРЭ (ВИ). – 2008. – №1. – С. 40–44.
4. Безбогов, А.А. Субоптимальное размещение ресурсов в распределенной информационно-вычислительной системе / А.А. Безбогов, Ю.Ю. Громов, В.М. Тютюнник, А.В. Яковлев. // Инженер. физика. – 2003. – №4. – С. 47–51.
5. Майника, Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах : пер. с англ. / Э. Майника. – М. : Мир, 1981. – 323 с.
6. Яковлев, А.В. Информационное обеспечение системы поддержки принятия решений командного пункта авиационного полка при выполнении боевой задачи / А.В. Яковлев, А.Н. Шевцов ; ТВАИИ. – Тамбов, 2000. – 15 с. Деп. в ЦВНИ МО РФ 20.03.2000, № В 4757.
7. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такаха. – М. : Мир, 1973. – 312 с.
8. Месарович, М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, И. Такаха. – М. : Мир, 1978. – 311 с.

Syntheses of Mathematical Model of Automated Control System of Special Designation with Microkernel Architecture

Al.V. Yakovlev, An.V. Yakovlev, S.V. Petrenko

*Tambov Higher Military Aviation Engineering College
of Radio Electronics (Military Institute), Tambov;
Lipetsk State Teachers' Training University, Lipetsk*

Key words and phrases: emergence coefficient; micro-nucleus; elements set; level positioning; system effect; functional properties.

Abstract: The paper presents the system structural-morphological model of the tasks, solved by the ACS of special designation, which makes it possible to describe it from different sides with the given levels of abstracting, caused by the purposes of the evaluation of functional properties. It is proposed to isolate the microkernel of the system with the minimum set of functions. In the architecture with microkernel the traditional vertical location of levels is substituted by the horizontal. The isolation of the microkernel is proposed to produce on the basis of the analysis of the coefficient of the emergence, which is the relative exceeding quantity of the system information taking into account the system effects (mixed states, the

hierarchic structure of its subsystems etc) above the quantity of information without taking into account systematization.

© Ал.В. Яковлев, Ан.В. Яковлев, С.В. Петренко, 2009