

Исследование возможностей оптимизации процессов управления киберфизическими системами

Т. В. Аветисян, Я. Е. Львович, А. П. Преображенский, Ю. П. Преображенский

Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия

Аннотация. Рассмотрены особенности решения задач, связанных с оптимизацией процессов управления в киберфизических системах на производственных предприятиях. При помощи предлагаемого подхода, основанного на теории графов и структурных матриц, появляются возможности для оценки эффективности работы киберфизической системы и исследования альтернативных вариантов ее формирования. Выполнена формальная постановка оптимизационной задачи для того, чтобы осуществлять оценку эффективности функций управления. Она рассматривается в виде задачи линейного программирования с булевыми переменными. Результаты показывают возможность повышения эффективности управления киберфизическими системами.

Ключевые слова: киберфизическая система, оптимизация, управление, процесс, модель.

DOI 10.14357/20718632230210

Введение

В настоящее время мы можем видеть как в производственной сфере внедряются и активно развиваются элементы киберфизических систем. В такой системе происходят сложные процессы, связанные с обработкой больших разнородных объемов данных. Важно проводить решение задач, направленных на оптимизацию ресурсов, применяемых в ходе формирования киберфизических систем на базе модульных структур [1; 2]. Целью данной работы является разработка модели, позволяющей оптимизировать выбор управляющих воздействий в киберфизических системах на производственных предприятиях.

1. Анализ состояния вопроса

Мы можем отметить, что в ходе проектирования киберфизических систем различные ав-

торы привлекают интеграционные подходы. Например, в парадигме проектирования Девопс [3], используется требование, состоящее в том, что будет происходить уменьшение разрыва между разработкой и непрерывной модернизацией в жизненном цикле. В практических случаях исследователи осуществляют переход от водопадных моделей в ходе процессов к циклическим и спиральным моделям [4]. В качестве другого возможного способа, который дает возможности для обеспечения снижения разрыва среди этапов жизненного цикла киберфизической системы, может быть, применение ITIL [5; 6]. В настоящее время мы можем наблюдать развитие подходов, которые основываются на привлечении свойств вариабельности (agility) киберфизических систем [7]. При этом важно поддерживать целостность данных для протоколов управления киберфизических систем [8]. Представляет интерес проведение

разработки модели, которая основывается на оптимизационных подходах при выборе управляющих воздействий внутри киберфизических систем.

Обзор ключевых моделей и приложений, которые применяются для киберфизических систем, дан в работе [9]. Для проектируемых киберфизических систем, как указано в [10], необходимо учитывать три базовых требования: стабильность, безопасность и систематичность.

В работах [11-14] рассматривались частные задачи, в которых использовались графовые модели, но не давались оценки эффективности управляющих воздействий с учетом динамики перестраиваемых киберфизических объектов.

Притом, что существуют результаты связанные с решением частных задач и обеспечением функционирования киберфизических систем, нет полных решений по их синтезу с точки зрения конкретных применений. В этой связи решение задачи, в которой обеспечивается взаимодействие элементов систем с учетом эффективности управляющих воздействий является актуальным.

В работе авторами предложен комплексный подход, объединяющий применение теории графов, динамической теории оптимизации, статистических подходов, эвристических подходов с целью повышения эффективности киберфизической системы.

2. Оптимизация выбора управляющих воздействий в киберфизической системе

Задачу, связанную с выбором управлений в киберфизической системе, рассмотрим с точки зрения общей постановки.

Считаем, что используем модель графа для того, чтобы осуществить описание киберфизической системы (КС). Будем рассматривать киберфизическую систему в виде модульной структуры, в которую входят M модулей. Управление внутри системы базируется на привлечении m задач. Существуют оценки, которые связаны с продолжительностью $C_e^{(1)}$, надежностью $C_e^{(2)}$, стоимостью $C_e^{(3)}$ и т.д., когда происходит рассмотрение e -й задачи, при этом, $e = \overline{1, \mu}$. Могут быть указаны оценки $C_{es}^{(1)}$, $C_{es}^{(2)}$,

$C_{es}^{(3)}$, ... в тех случаях, когда между e -й и s -й задачами есть наличие некоторой информационной связи. Требуется, чтобы в рассматриваемой структуре киберфизической системы было обеспечено оптимальное значение рассматриваемого критерия за счет найденного распределения задач по вершинам графа [15, 16, 17]. После этого могут быть привлечены все критерии, чтобы решить задачу.

Можно провести формирование матрицы смежности $\|k_{ij}\|, i = \overline{1, r}, j = \overline{1, r}$, с учетом того, что r - число вершин в анализируемой графовой схеме. Она является полезной, если требуется описывать граф, описывающий информационные связи. Относительно диагонали в матрице можно наблюдать симметрию. Поэтому для того, чтобы упростить процессы анализа будем рассматривать лишь элементы, удовлетворяющие условию $i < j$.

При разработке модели предлагается использовать булевы переменные:

$$x_{ei} = \begin{cases} 1, & \text{если } e - \text{я задача принадлежит} \\ & i - \text{й вершине графа} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

В оптимизационных задачах используются такие ограничения, которые определяются соответствующими начальными условиями:

$$\begin{aligned} \sum_{e_i=1}^{\mu} x_{ei} &= 1, \quad i = \overline{1, r} \\ \sum_{i=1}^{\mu} x_{ei} &\leq r_e \quad e = \overline{1, \mu} \end{aligned} \quad (1)$$

здесь r_e - показывает число задач, которые относятся к e -му типу, учитывается условие нормировки

$$\sum_{e=1}^{\mu} r_e = n.$$

Кроме того, при анализе графовой структуры мы будем использовать вспомогательные переменные:

$$y_{sj} = \begin{cases} 1, & \text{если } s - \text{я задача помещена} \\ & \text{в } j - \text{ю вершину графа} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

$$z_{e_i s_j} = \begin{cases} 1, & \text{если } e\text{-я задача принадлежит} \\ & i\text{-й вершине, а } s\text{-я задача - } j\text{-й} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Для переменных $y_{s_j}, z_{e_i s_j}$ в ходе реализации процессов моделирования необходимо учитывать следующие ограничения:

$$x_{e_i} - y_{s_j} = 0, \quad i, j = \overline{1, r}; s, l = \overline{1, \mu}; i = j; e = s \quad (2)$$

$$\begin{aligned} r \cdot x_{e_i} - \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{\mu} e_i s_j &= 0, \quad i = \overline{1, r}; e = \overline{1, \mu}; \\ r \cdot y_{s_j} - \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{\mu} e_i s_j &= 0, \quad j = \overline{1, r}; e = \overline{1, \mu} \quad (3) \end{aligned}$$

Когда проводится рассмотрение выражения (2), то учитывается, что по значениям переменных x_{e_i} и y_{s_j} будет обеспечиваться полное совпадение. В выражении (3) мы основываемся на том, что $z_{e_i s_j}$ будет равно 1 лишь в случае, если $x_{e_i} = y_{s_j} = 1$. Предположим, что осуществляется анализ по совокупности информационных связей для l -го критерия качества. В таком случае в киберфизической системе общую оценку по структуре будем представлять таким способом:

$$\sum_{i=1}^r \sum_{e=1}^{\mu} c_e^{(l)} x_{e_i} + \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^r \sum_{s=1}^{\mu} \sum_{e=1}^{\mu} c_{es}^{(l)} k_{ij} z_{e_i s_j} \quad (4)$$

Тогда при анализе киберфизической системы необходимо, чтобы для линейной формы была обеспечена минимизация по возможным значениям:

$$\begin{aligned} c^{(l)} &= \\ &= \sum_{i=1}^r \sum_{e=1}^{\mu} c_e^{(l)} x_{e_i} + \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^r \sum_{s=1}^{\mu} \sum_{e=1}^{\mu} c_{es}^{(l)} k_{ij} z_{e_i s_j} \quad (5) \end{aligned}$$

В ходе решения задачи следует учитывать следующие выражения, которые являются ограничениями

$$\sum_{e_i=1}^{\mu} x_{e_i} = 1, \quad i = \overline{1, r},$$

$$\sum_{i=1}^{\mu} x_{e_i} \leq r_e \quad e = \overline{1, \mu},$$

$$x_{e_i} - y_{s_j} = 0, \quad i, j = \overline{1, r}; s, l = \overline{1, \mu}; i = j; e = s, \quad (6)$$

$$r \cdot x_{e_i} - \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{\mu} e_i s_j = 0, \quad i = \overline{1, r}; e = \overline{1, \mu};$$

$$r \cdot y_{s_j} - \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{\mu} e_i s_j = 0, \quad j = \overline{1, r}; e = \overline{1, \mu}.$$

Анализ представленных выражений демонстрирует, что они относятся к задаче, в которой рассматривается однокритериальная оптимизация. В киберфизической системе важно изучать и описывать отдельные элементы в структуре, а также связи между ними.

Нами была проведена разработка методики, которая связана с теорией графов и методом структурных матриц. На ее базе существуют возможности для поддержки статического анализа киберфизических структур. Требуется выполнение нескольких шагов для того, чтобы осуществить анализ. Выходы каждого модуля в структуре определяются на первом этапе, то есть, происходит определение вектора состояния киберфизической системы. Взаимосвязи, которые возникнут между подсистемами, будут выявляться на втором этапе в структурной матрице.

Функциональные подсистемы соответствуют r -м строкам в матрице, связи подсистем соответствуют j -м столбцам. В орграфе G модули системы будут соответствовать вершинам, связи среди модулей соответствуют дугам. Для графа G происходит определение матрицы инцидентности $M(G)$. Столбцы в матрице $M(G)$ соотносятся с дугами, вершины в графе G соотносятся со строками.

В киберфизической системе необходимо проводить анализ с учетом того, как работает каждый из модулей. В модулях должны рассматриваться характеристики задач, а также прямые и обратные связи между ними. В формируемой матрице необходимо учесть характеристики связей. Предлагается применение бук-

венного обозначения. На его основе проводится иллюстрация силы связи. Есть также цифровой индекс. Он необходим для того, чтобы показать причину формирования связи. Мы можем указать такие градации в шкале:

А – сила связи является сверхвысокой (должно быть совместное управление в связанных задачах),

Е – связь рассматривается в виде обоснованной (если отсутствуют тесные связи среди задач, то есть вероятность серьезных сбоев),

С – связь рассматривается в виде важной (необходимо применение тесных связей по задачам),

V – между задачами нет связей,

О – связь рассматривается в виде обычной (представляют интерес некоторые связи между задачами),

Х – можно говорить о нежелательности связей среди задач.

Причины, которые соотносятся с появлением соответствующей связи, определяются так:

1 – когда выполняются работы, необходимо осуществление постоянной координации,

2 – необходимы регулярные связи между модулями,

3 – требуется обмен информацией,

4 – применение одинаковых данных в задачах,

5 – задачи объединяются при управлении,

6 – применение одной и той же аппаратуры,

7 – требуется применение контроля по исполнению двух задач.

Пользователи киберфизической системы осуществляют оценку связей. Компромиссный вариант, если это требуется, они могут занести в матрицу.

Целесообразное формирование модулей в структуре киберфизической системы отмечается в рекомендациях, которые есть в решении. Среди отличительных особенностей во множестве решений, связанных с киберфизическими системами, следует указать разнородные требования к эффективности задач управления на их структурных уровнях, к безопасности, а также к надежности в протоколах управления. Мониторинг систем ведется непрерывно. В этой связи необходимо обеспечивать целостность данных для протоколов управления киберфизическими системами [8].

Оценки связей будут уточняться, пока не будет обозначено согласие. То есть, происходит процесс, являющийся многоэтапным, когда вырабатываются рекомендации по формированию структуры системы. После получения и согласования оценок можно опираться на формальную процедуру объединения модулей. Когда процедура завершена, получается описание и именование связей по всем модулям изучаемой структуры.

Можно осуществлять формирование прецедентов за счет того, что происходит связь задач, которые будут относиться к разным модулям. Когда прецедент проверен с точки зрения того, насколько он правильный, необходимо применять процедуры имитационного моделирования. С его использованием мы можем определить характеристики киберфизической системы.

3. Оптимизационная модель, позволяющая вести изменения в киберфизической системе

Пусть киберфизическая система сформирована на базе N модулей, $|N| = n$. Пусть M_i является множеством функций i , которые реализуются внутри киберфизической системы в течение некоторого периода. Считаем, что для киберфизической системы по каждому модулю j дано обозначение совокупности функций M_j . В качестве дополнительного условия исходим из того, что в множествах функций могут быть одинаковые элементы. Могут наблюдаться непустые пересечения, когда рассматриваются эти множества функций. Будем считать, что использование функции i в совокупности модулей j приведет к повышению эффективности c_{ij} . Исходим из того, что применяемые ресурсы будут двух видов. Пусть использование функции i в совокупности модулей j требует a_{ij} единиц ресурсов первого вида и A_{ij} единиц ресурсов второго вида. Ресурсы первого вида имеют ограничение величиной k , объем ресурсов второго вида равен B . Основываясь на особенностях решения задачи, используем булевы переменные $x_{ij} \in \{0,1\}$. Учитываем, что $x_{ij} = 1$, если функция $i \in M_j$ используется в модуле $j \in N$, и $x_{ij} = 0$ в противном случае.

Тогда модель представляется таким образом:

$$\max \sum_{j \in N} \sum_{i \in M_j} c_{ij} x_{ij}, \quad (7)$$

с учетом требований выполнения условий $x_{ij} \in \{0,1\}$, $i \in M_j, j \in N$,

$$\sum_{i \in M_j} a_{ij} \leq b_{ij}, j \in N, \quad (8)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{i \in M_j} A_{ij} x_{ij} \leq B.$$

Представленная задача оптимизации рассматривается в виде задачи линейного программирования с булевыми переменными. В ходе решения рассматриваем ресурсы как скалярные. Могут быть использованы стандартные методы, которые базируются на методиках целочисленного программирования. В результате проведенного анализа было показано, что при этом могут возникнуть вычислительные и другие трудности. В этой связи мы предлагаем использовать приближенный метод.

Для каждого модуля могут быть обозначены некоторые характеристики. Ориентируясь на них, требуется провести отбор функций. При этом, в качестве одного из ключевых требований можно рассматривать максимизацию суммарной эффективности. Для того, чтобы решать задачу, может потребоваться привлечение достаточно большого объема ресурсов. В таких случаях в ходе исследований могут потребоваться корректировки по применяемым ресурсам.

Задача представляется следующим способом:

$$\max \sum_{j \in N} \sum_{i \in M_j} c_{ij} x_{ij}. \quad (9)$$

Она дает возможности для того, чтобы получить первоначальное распределение. Есть также дополнительные ограничения:

$$x_{ij} \in \{0,1\}, i \in M_j, j \in N, \quad (10)$$

$$\sum_{i \in M_j} a_{ij} \leq b_{ij}, j \in N, \quad (11)$$

$$\max \left\{ \sum_{i \in M_j} c_{ij} x_{ij} \mid \sum_{i \in M_j} a_{ij} x_{ij} \leq b_{ij} \right\}. \quad (12)$$

Требуется решать обозначенные задачи (9) - (12). Это требуется при поиске оптимального плана $\{x_{i1}^*, \dots, x_{in}^*\}$. В задаче оптимизации

выбирается целевая функция. Ее оптимальное значение считаем c_0 .

Для любого $j \in N$ необходимо сопоставить $Q_j = \{i \mid x_{ij}^* = 1\}$.

Исходим из того, что справедливо такое разложение $y_j^* = \sum_{i \in Q_j} A_{ij}$.

В каких случаях план $\{x_{ij}^*\}$ рассматривается как оптимальный? Следует отслеживать справедливость ограничения $\sum_{j \in N} y_j^* \leq B$. Будут ли

ограничения по ресурсам второго вида? Проведенный анализ продемонстрировал, что их не будет.

Предположим, что мы имеем обратную ситуацию, когда $\sum_{j \in N} y_j^* \notin B$. То есть, множества

не будут пересекаться, план $\{x_{ij}^*\}$ не будет допустимым. Важно обеспечить минимальное снижение в значении целевой функции. Каким образом это может быть достигнуто? Определяются булевы переменные x_{ij} , которые удовлетворяют неравенству (9) - (12). При этом важно учитывать оптимальное значение c_0 . Требуется обеспечить решение этой задачи. Мы предлагаем основываться на эвристическом алгоритме пожирающего типа.

Должна быть поддержка планового показателя. Для этого требуется обеспечение дополнительных ресурсов:

$$\alpha = \sum_{j \in N} y_j^* - B. \quad (13)$$

Внутри плана $\{x_{ij}^*\}$, который относится к первому этапу, необходимо определить функцию. Она будет связана с любым модулем $j \in N$. Какое требуется учесть условие? Исходим из минимального приращения эффективности. То есть, необходимо определить по каждому $j \in N$ такое $i_0 = i_0(j)$, при котором справедливо выражение

$$\gamma_{i_0 j} = \min_{i \in Q_j} \frac{c_{ij}}{a_{ij}}. \quad (14)$$

Проведем процесс ранжирования: $\gamma_{i_0 j} \leq \gamma_{i_0 j_1} \leq \dots \leq \gamma_{i_0 j_n}$.

Будем последовательным образом считать $x_{i0j} = 0, x_{i0j_1} = 0$ и т.д. до минимального l , когда будет выполняться равенство

$$\tilde{\alpha} = \alpha - \sum_{k=1}^n \alpha_{i0jk} . \quad (15)$$

Повторяется процесс при рассмотрении множеств Q_j и числа $\tilde{a}$.

Исходят из того, что существует допустимое решение, как показывают исследования, во многих случаях в алгоритмах пожирающего типа. Требуется выделить переменных, которые наилучшим образом влияют на решение. Мы придем к первому недопустимому решению, реализуя построенные алгоритмы.

Достаточно легко реализовать приближенный подход на компьютере при построении программы для расчета. Требуется осуществлять решение n одномерных задач о ранце.

Проведем рассмотрение вопроса, связанного с динамикой реализации функций. Тогда определяются моменты времени, когда начинает действовать каждая функция. При этом требуется провести разработку динамического варианта базовой модели.

Будем считать, что реализация функций в киберфизической системе происходит в течение периода T , который состоит из дискретных подпериодов $t=1,2,\dots,T$. По каждому модулю задаются списки функции, которые могут быть использованы для каждого из подпериодов в плановом периоде. В дальнейшем может происходить дополнение таких списков соответствующими функциями. Ограничения для ресурсов первого и второго вида мы будем рассматривать как заданные по каждому подпериоду. Необходимо определить план функций по каждому модулю так, чтобы не были нарушены ограничения, связанные с источниками ресурсов, и был получен максимальный общий эффект для всего промежутка планирования. Исходим из того, что для каждой функции мы можем оценить эффект относительно подпериода. Помимо этого, если функция реализуется для подпериода t , тогда эффект от нее будет получаться для подпериода $t+1$.

Используем булевы переменные $x_{ijt} \in \{0, 1\}$, с учетом того, что $x_{ijt} = 1$, когда функция $i \in M_{jt}$

применяется в модуле $j \in N$ для времени t , и $x_{ijt} = 0$ в противном случае. При этом задача будет сведена к тому, что будет максимизироваться целевая функция

$$\max \sum_{t=1}^T \sum_{j \in N} \sum_{i \in M_{jt}} \Lambda(t) c_{ij} x_{ijt} \quad (16)$$

с учетом условий

$$x_{ijt} \in \{0, 1\}, i \in M_{jt}, j \in N, t=1, 2, \dots, T \quad (17)$$

$$\sum_{i \in M_{jt}} \alpha_{jt} x_{ijt} \leq b_{jt}, j \in N, t=1, 2, \dots, T \quad (18)$$

$$\sum_{i \in M_j} \alpha_{jt} x_{ijt} \leq B_t, j \in N, t=1, 2, \dots, T \quad (19)$$

$$\sum_{t=1}^T x_{ijt} \leq 1, i \in M_{jt}, j \in N \quad (20)$$

Условия (17) – (19) рассматриваются как прямые обобщения по условиям (10) – (12) статистической модели. В условии (20) учитывается то, что функция i может быть использована в модуле j не более одного раза. Проведем теперь анализ вида функции $L(t)$ в (17). Пусть коэффициент использования ресурсов обозначается l . В таком случае общий эффект за все время к концу планового периода будет $(l^{t+1} + l^{t+2} + \dots + l^T) c_{ij}$. При суммировании прогрессии, которая будет в скобках, приходим к тому, что

$$\Lambda(t) = \frac{\lambda^{t+1} - \lambda^{T+1}}{1 - \lambda}. \quad (21)$$

Модель (17) – (20) необходимо решать на основе эвристического метода. При анализе структуры целевой функции и ограничений в задаче (17) – (19) можно убедиться в том, что будет независимость друг от друга переменных, которые входят в задачу для разных t .

В этой связи в целевой функции максимум будет достигнут тогда и только тогда, когда будет достижение максимума каждой из величин

$$\sum_{j \in N} \sum_{i \in M_{jt}} c_{ij} x_{ijt} \quad (22)$$

с учетом ограничений (17) – (19), которые анализируются для соответствующих значений t . Тогда, решение задачи (10) – (13) будет сведено к тому, что максимизируется (12), когда

$t=1,2,\dots,T$. Важно отметить, что при этом переменные x_{ijt} будут подчиняться ограничениям (17) - (19). Эти ограничения выбираются для таких же значений t . По релаксированной модели (16) - (19) обосновывается возможность в пошаговом решении. Приближенный метод, который указан выше, для нее может быть использован достаточно эффективным образом.

Мы должны определенным образом учесть ограничения (20), чтобы окончательно образом решить динамическую задачу (17) - (20). Мы можем потребовать использование каждой функции как можно раньше: пусть для шага t

$$Q_t = \{i, j \mid x_{ijt} = 1\}. \quad (23)$$

В таком случае необходимо положить $a_{ij} = \infty$ для $i, j \notin Q_t$ и $t+1, \dots, T$. Тогда будет автоматическое выполнение условия (20). Укажем еще один вариант базовой динамической модели. Будем предполагать, что ресурсы первого вида b_{jt} каждого модуля, начиная со второго временного шага, будут обеспечивать некоторую долю g_j эффективности Π_j^{t-1} этого модуля, которая получается для предыдущего временного периода. Ресурсы первого вида на первом этапе рассматриваются как заданная величина, они равны b_{j1} . Тогда для всех $t \geq 2$ получим:

$$b_{jt} = g_j \Pi_j^{t-1} = \gamma_j \sum_{i \in M_{j,t-1}} c_{ij} x_{ijt} - 1. \quad (24)$$

В результате, для первого этапа мы приходим к задаче

$$\max \left\{ \sum_{j \in N} \sum_{i \in M_{j1}} c_{ij} x_{ij1} \mid \sum_{i \in M_{j1}} a_{ij} x_{ij1} \leq b_{j1}, \right. \\ \left. \sum_{j \in N} \sum_{i \in V_{j1}} a_{ij} x_{ij1} \leq B_t \right\}. \quad (25)$$

Ее решение будет однозначным образом определять Π_j^2 . К нему можно прийти, например, на основе вышеизложенного подхода. Используя принцип индукции, можно убедиться, что для рассматриваемого варианта задачи снова является справедливым принцип пошаговой оптимизации. При этом будут сохраняться предположения, связанные с тем, какой взят способ учета ограничения (20).

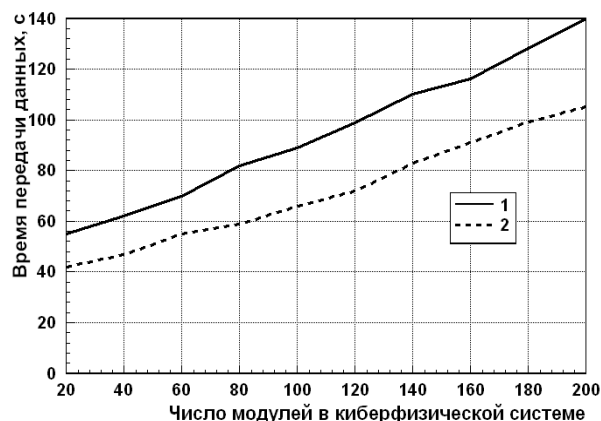


Рис. 1. Иллюстрация воздействия управляющих воздействий на повышение эффективности работы киберфизической системы

4. Результаты

В результате проведенного имитационного моделирования были получены результаты, демонстрирующие повышение эффективности управления на основе предлагаемой модели.

Для каждого модуля в киберфизической системе было предусмотрено использование не более 6 управляющих функций. После использования предлагаемой модели можно наблюдать повышение эффективности работы киберфизической системы (Рис. 1). Кривая 1 соответствует киберфизической системе без оптимизированных управляющих воздействий, кривая 2 соответствует киберфизической системе с оптимизированными управляющими воздействиями.

Заключение

Осуществлена постановка оптимизационной задачи выбора функций управления в киберфизической системе. В рамках предлагаемого подхода, базирующегося на теории графов и структурных матриц, появляются возможности для того, чтобы оценивать эффективность работы киберфизической системы и исследовать альтернативные варианты ее формирования. Разработана модель распределения ресурсов для структуры, состоящей из определенного числа модулей, по каждому из них есть список функций управления. Дана формулировка оптимизационной задачи для того, чтобы оценивать

эффективность функций управления, которая является задачей линейного программирования с булевыми переменными. Было предложено применять для ее решения метод, который базируется на использовании «пожирающих» алгоритмов.

Если в рамках обозначенных планов есть возможность для максимизации суммарного эффекта, то задача отбора функций является решенной. Если же для первоначального отбора функций необходим больший объем ресурсов, чем запланировано, тогда происходит минимизация отклонения от первоначального варианта. В результате возникают возможности для удовлетворения ограничений по объемам привлекаемых ресурсов.

Представленный подход может быть использован для широкого класса киберфизических систем. Особую значимость его применение приобретает для киберфизических систем, построенных на базе промышленного интернета. Они должны быть представлены в виде совокупности модулей. В них необходимо обладать полной информацией относительно их функционирования.

Разработанный подход направлен на развитие теории интегрированных, интеллектуальных информационных систем, использующих большие данные и облачные технологии.

Литература

1. Lvovich I., Lvovich Y., Preobrazhenskiy A. Modeling the processes of increasing the efficiency of the internet of things system // В сборнике: Proceedings - 2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2022. 2022. С. 1030-1034.
2. Lvovich I., Lvovich Y., Preobrazhenskiy A. Modeling the classification of internet of things objects by failures // В сборнике: Proceedings - 2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2022. 2022. С. 1035-1039.
3. Len Bass, Ingo Weber, Liming Zhu. DevOps A Software Architect's Perspective. NJ: Addison-Wesley Professional, 2015. URL: <http://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/9780134049847/samplepages/9780134049847.pdf> (дата обращения 26.12.2022).
4. Richard W. Selby. Software Engineering: Barry W. Boehm's Lifetime Contributions to Software Development, Management, and Research. — John Wiley & Sons, 2007-06-04. — 834 p.
5. Ингланд Р. Овладевая ITIL. М.: Лайвбук, 2011. — 200 с.
6. The Open Group architecture framework. URL: <http://www.opengroup.org/togaf> (дата обращения 26.12.2022).
7. Muhammad Ali Babar, Brown A. W., Mistrik I. Agile software architecture aligning agile processes and software architectures. MA, USA: Morgan Kaufmann, 2014.
8. Р. В. Мещеряков, А. Ю. Исхаков, О. О. Евсютин, Современные методы обеспечения целостности данных в протоколах управления киберфизических систем, Тр. СПИИРАН, 2020, выпуск 19, том 5, 1089–1122 DOI: <https://doi.org/10.15622/ia.2020.19.5.7>
9. Цвиркун А. Д., Акиндиев В. К. Структура многоуровневых и крупномасштабных систем (синтез и планирование развития). М.: Наука, 1993. 160 с.
10. Hahn A., Ashok A., Sridhar S., Govindarasu M. Cyber-physical security testbeds: Architecture, application, and evaluation for smart grid // IEEE Transact. of Smart Grid. 2013. N 4(2). P. 847—855. DOI:10.1109/TSG.2012.2226919.
11. Ронжин А. Л., Басов О. О., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Концептуальная и формальная модели синтеза киберфизических систем и интеллектуальных пространств // Изв. вузов. приборостроение. 2016. Т. 59, № 11, с. 897-905.
12. Аббас С. А., Водяхо А. И., Жукова Н. А., Червонцев М. А., Мьо Аунг Об одном подходе к построению систем сбора данных в киберфизических системах, построенных на платформах туманных вычислений // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» № 7/2020, с.5-14.
13. Ступников С. А. Отображение графовых моделей данных в каноническую модель в системах с интенсивным использованием данных // Системы высокой доступности 2014, №2, с. 13-31.
14. Грозмани Е.С., Петров С.В. Разработка модели процесса управления информационной безопасностью киберфизической системы // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Т. 16. № 1. С. 38-43.
15. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Анализ некоторых направлений повышения пропускной способности ip-сетей связи // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 1 (40). С. 42-45.
16. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Особенности оптимизации беспроводных систем связи // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 1 (40). С. 68-71.
17. Lvovich I.Y., Preobrazhenskiy A.P., Lvovich Y.E., Choporov O.N. Algorithmization of control of information and telecommunication systems based on the optimization model // В сборнике: Procedia Computer Science. 14. Сер. "14th International Symposium "Intelligent Systems", INTELS 2020" 2021. С. 563-570.

Аветисян Татьяна Владимировна. Воронежский институт высоких технологий - автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования (ВИВТ-АНОО ВО). Специалист проектного отдела ВИВТ. Область научных интересов: беспроводные сети, информационные системы и технологии. E-mail: vtatyana_avetisyan@mail.ru

Львович Яков Евсеевич. Воронежский институт высоких технологий - автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования (ВИВТ-АНОО ВО). Профессор. Доктор технических наук. Область научных интересов: киберфизические системы, информационные системы и технологии. E-mail: office@vivt.ru

Преображенский Андрей Петрович. Воронежский институт высоких технологий - автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования (ВИВТ-АНОО ВО). Профессор. Доктор технических наук. Область научных интересов: киберфизические системы, информационные системы и технологии. E-mail: app@vivt.ru

Преображенский Юрий Петрович. Воронежский институт высоких технологий - автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования (ВИВТ-АНОО ВО). Проректор по ИТ. Кандидат технических наук, доцент. Область научных интересов: автоматизация, информационная безопасность, информационные системы и технологии. E-mail: petrovich@vivt.ru

Investigation of the Possibilities of Optimizing the Management Processes of Cyberphysical Systems

T.V. Avetisyan, Ya.E. Lvovich, A.P. Preobrazhensky, Yu.P. Preobrazhensky

Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

Abstract. The article discusses the features of solving problems related to the optimization of control processes in cyberphysical systems at manufacturing enterprises. With the help of the proposed approach based on the theory of graphs and structural matrices, there are opportunities to evaluate the effectiveness of the cyberphysical system and explore alternative options for its formation. The optimization task was formed in order to evaluate the effectiveness of management functions. It is considered as a linear programming problem with Boolean variables. The results show the possibility of improving the management efficiency of cyber-physical systems.

Keywords: cyberphysical system, optimization, management, process, model.

DOI 10.14357/20718632230210

References

1. Lvovich I., Lvovich Y., Preobrazhenskiy A. Modeling the processes of increasing the efficiency of the internet of things system // In the collection: Proceedings - 2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2022. 2022. C. 1030-1034.
2. Lvovich I., Lvovich Y., Preobrazhenskiy A. Modeling the classification of internet of things objects by failures // In the collection: Proceedings - 2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2022. 2022. C. 1035-1039.
3. Len Bass, Ingo Weber, Liming Zhu. DevOps A Software Architect's Perspective. NJ: Addison-Wesley Professional, 2015. URL: <http://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/9780134049847/samplepages/9780134049847.pdf> (date of application 26.12.2022).
4. Richard W. Selby. Software Engineering: Barry W. Boehm's Lifetime Contributions to Software Development, Management, and Research. — John Wiley & Sons, 2007-06-04. — 834 p.
5. Ingland R. Ovladevaya ITIL [Mastering ITIL]. M.: Lajbuk [Live Book], 2011. — 200 p.
6. The Open Group architecture framework. URL: <http://www.opengroup.org/togaf> (date of application 26.12.2022).
7. Muhammad Ali Babar, Brown A. W., Mistrik I. Agile software architecture aligning agile processes and software architectures. MA, USA: Morgan Kaufmann, 2014.
8. R. V. Meshcheryakov, A. YU. Iskhakov, O. O. Evsyutin, Sovremennyye metody obespecheniya celostnosti dannykh v protokolah upravleniya kiberfizicheskikh sistem [Modern methods of ensuring data integrity in control protocols of cyberphysical systems], Tr. SPIIRAN, 2020, Issue 19, Volume 5, 1089-1122 DOI: <https://doi.org/10.15622/ia.2020.19.5.7>
9. Cvirkun A. D., Akindiev V. K. Struktura mnogourovnevnykh i krupnomasshtabnykh sistem (sintez i planirovaniye razvitiya) [Structure of multilevel and large-scale systems (synthesis and development planning)]. M.: Nauka, 1993. 160 p.
10. Hahn A., Ashok A., Sridhar S., Govindarasu M. Cyber-physical security testbeds: Architecture, application, and evaluation for smart grid // IEEE Transact. of Smart Grid. 2013. N 4(2). P. 847—855. DOI:10.1109/TSG.2012.2226919.
11. Ronzhin A. L., Basov O. O., Sokolov B. V., YUsupov R. M. Conceptual'naya i formal'naya modeli sinteza kiberfizicheskikh sistem i intellektual'nykh prostranstv [Conceptual and formal models of synthesis of cyberphysical systems and intellectual spaces] // Izv. vuzov. Priborostroenie [Izv. vuzov. instrumentation]. 2016. T. 59, № 11, p. 897-905.

12. Abbas S. A., Vodyaho A. I., Zhukova N. A., Chervoncev M. A., M'o Aung Ob odnom podhode k postroeniyu sistem sbora dannyh v kiberfizicheskikh sistemah, postroennyh na platformah tumannyh vychislenij [On one approach to the construction of data collection systems in cyberphysical systems built on fog computing platforms] // Izvestiya SPbGETU «LETI» № 7/2020, p.5-14.
13. Stupnikov S. A. Otbrazhenie grafovyyh modelej dannyh v kanonicheskuyu model' v sistemah s intensivnym ispol'zovaniem dannyh [Mapping graph data models into a canonical model in systems with intensive use of data] // Sistemy vysokoy dostupnosti [High availability systems] 2014, №2, p. 13-31.
14. Grozmani E.S., Petrov S.V. Razrabotka modeli processa upravleniya informacionnoj bezopasnost'yu kiberfizicheskoy sistemy [Development of a model of the information security management process of a cyberphysical system] // T-Comm: Telekommunikacii i transport [T-Comm: Telecommunications and transport.]. 2022. T. 16. № 1. P. 38-43.
15. L'vovich YA.E., Preobrazhenskij YU.P., Ruzhickij E. Analiz nekotoryh napravlenij povysheniya propusknosti sposobnosti ip-setej svyazi [Analysis of some directions of increasing the bandwidth of IP communication networks] // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tekhnologij [Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies]. 2022. No. 1 (40). pp. 42-45.
16. L'vovich YA.E., Preobrazhenskij YU.P., Ruzhickij E. Osobennosti optimizacii besprovodnyh sistem svyazi [Features of optimization of wireless communication systems] // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tekhnologij [Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies]. 2022. No. 1 (40). pp. 68-71.
17. Lvovich I.Y., Preobrazhenskiy A.P., Lvovich Y.E., Chorporov O.N. Algorithmization of control of information and telecommunication systems based on the optimization model // In the collection: Procedia Computer Science. 14. Cep. "14th International Symposium "Intelligent Systems", INTELS 2020" 2021. C. 563-570.

Avetisyan T. V. Voronezh Institute of High Technologies is an autonomous non-profit educational organization of higher education (VIVT-ANOO VO), Voronezh, Russia. E-mail: vtatyana_avetisyan@mail.ru

Lvovich Ya. E. Doctor of Technical Sciences, Professor. Voronezh Institute of High Technologies is an autonomous non-profit educational organization of higher education (VIVT-ANOO VO), Voronezh, Russia. E-mail: office@vivt.ru

Preobrazhensky A. P. Doctor of Technical Sciences, Professor. Voronezh Institute of High Technologies is an autonomous non-profit educational organization of higher education (VIVT-ANOO VO), Voronezh, Russia. E-mail: app@vivt.ru

Preobrazhensky Yu. P. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Voronezh Institute of High Technologies is an autonomous non-profit educational organization of higher education (VIVT-ANOO VO), Voronezh, Russia. E-mail: petrovich@vivt.ru