

МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРЕНАЖНОЙ СИСТЕМЫ

Мистров Л.Е., д-р техн. наук, проф., проф., проф. кафедры ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Центральный филиал «Российский государственный университет правосудия», гл. спец. ФГБУ «Институт стандартизации»

Кучевский К.В., начальник учебно-тренажного комплекса ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Поляков О.В., преподаватель ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Основу подготовки специалистов для приобретения навыков принятия решений по способам применения сложных радиоэлектронных объектов на множестве условий взаимодействия с внешней средой составляет разработка интеллектуальных тренажерных систем (ИТС). ИТС характеризуется большим числом технологических операций по анализу, обработке информации и выработке на ее основе решений, многообразием программно-аппаратных средств, множеством вариантов их использования и специфичностью условий протекания информационных процессов при решении учебно-тренажных задач. Функционирование ИТС обеспечивается на основе архитектурных решений с помощью диспетчеров команд и соответствующих данных, трансформирующих иерархическую структуру в сетевую с узлами последовательной и параллельной сборки.

В основе оптимизации функционирования ИТС лежит процедура представления ИТС в виде конечного ориентированного ациклического графа с множеством вершин, соответствующих одной или нескольким задействованным для решения задачи моделям. При этом оперативность выполнения работ определяется матрицей времени перестройки диспетчеров. Это позволяет для оценки динамики функционирования архитектуры ИТС в качестве варьируемых параметров использовать очередность передачи информации по ходу информационного процесса (операций). Для обеспечения синхронизации их работы предложен алгоритм обоснования работы диспетчеров на основе выбора и распределения операций диспетчером. Модель и алгоритм разработаны на основе положений теорий расписаний, графов и принятия решений.

Ключевые слова: интеллектуальная тренажерная система, архитектура, диспетчер команд, диспетчер данных, расписание, распределение, операция, информация, модель, алгоритм.

Цитирование: Мистров Л.Е., Кучевский К.В., Поляков О.В. Модель и алгоритм логистической поддержки архитектуры интеллектуальной тренажерной системы // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 4(79). С. 41–45.

ВВЕДЕНИЕ

Основу архитектуры информационной тренажерной системы (ИТС) составляют диспетчеры команд и данных, обеспечивающие динамический процесс функционирования элементов и системы в целом на основе выбора и распределения управляющих команд и данных и их динамического распределения по информационным операциям (ИО) [1, 2]. ИТС представляет сложную иерар-

хическую структуру, состоящую из нескольких уровней специализированного методического обеспечения и реализующих их средств программного обеспечения, которые могут условно задействоваться как автономно при решении специфических задач, так и в комплексе при решении взаимозависимых и взаимообусловленных задач. Основу программного обеспечения составляют модели и методики, обеспечивающие решение задач оценки эффективности применения составных частей и сложных радиоэ-

лектронных объектов в целом на иерархических уровнях конфликта с информационными системами и средствами конкурирующих организаций. Функционирование ИТС обеспечивается на основе архитектурных решений с помощью диспетчеров выдачи управляющих команд и соответствующей совокупности данных, трансформирующих иерархическую структуру архитектуры в информационную сеть с узлами последовательной и параллельной сборки и разуплотнения информации – систем команд (с указанием соответствующих адресов) и данных. Это обстоятельство значительно усложняет решение задачи распределения многоаспектного ресурса операций работы диспетчеров с информацией для всей ИТС в целом.

При разработке алгоритма реализации последовательных и параллельных процедур работы диспетчеров с информацией используются положения теории расписаний [3] для ИТС, структурно состоящей из отдельных (уровней) иерархической системы методического обеспечения и декомпозиционным подходом к решению подобных задач [4] с учетом специфических особенностей ее архитектуры: относительной автономности составляющих моделей (методик) и иерархических уровней программного обеспечения и возможности выполнения каждой процедурой не одной задачи, а нескольких реализующих операций в интересах решения некоторой номенклатуры задач передачи/приема информации потребителям – отдельным и системе методического обеспечения в виде обобщающих участков информационной сети при решении специфических информационно-расчетных задач.

Задача, вследствие широкого применения ИТС для подготовки специалистов по применению сложных радиоэлектронных объектов, является новой, актуальной, методы решения которой в известной литературе отсутствуют или приводятся в некотором обобщенном виде, не позволяющем их использовать для решения конкретных практических задач. Это определило целевую направленность и содержание предлагаемой статьи.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть для передачи / приема информации – систем команд (с определенными адресами) и данных потребителям $I = \{1, \dots, i, \dots, n\}$ на множестве диспетчеров $L = \{1, \dots, j, \dots, m\}$ требуется выполнение некоторого определенного множества операций. Здесь и далее, используя понятие вида диспетчера, учитывается их емкость передаваемого / принимаемого информационного пакета по видам информации для заинтересованных потребителей. В общем случае архитектура ИТС характеризуется совокупностью линейных процедур $k = \{1, \dots, k, \dots, K_s\}$, каждая из которых характеризуется собственной номенклатурой передаваемой / принимаемой информации $I_k \subset I$, совокупностью используемых диспетчеров $L_k \subset L$ и номенклатурой выполняемых ими работ $N_k \subset N$, представляющих собой непересекающиеся последовательности ИО [4] для

передачи каждого вида информации из I_k . Представим такую систему в виде конечного ориентированного ациклического графа $G = (K, V)$ с множеством вершин K и дуг V . Каждая вершина $k \in K$ графа G соответствует одной или нескольким задействованным для решения специфической задачи моделям (методик), каждая пара вершин $(k, k') \subset K$ соединяется дугой $v_{kk'} \in V$, направленной от вершины k к вершине k' , если хотя бы один вид информации из I_k перемещается по данной дуге.

Построенный граф G представляет собой исходную модель структуры архитектуры ИТС и содержит некоторое множество вершин $K' \in K$ с нулевой полустепенью захода и одну вершину $k^* \in K$ с нулевой полустепенью исхода. Эта вершина соответствует модели (методике), передача информации которой непосредственно предшествует выполнению информационно-расчетных задач последующей задействованной моделью (методикой) или получению конечного результата.

На основе графа G построим графы G_{Π} и G_T , которые используются для составления расписаний задействования диспетчера для работы с соответствующим видом информации.

Для получения графа $G_n = (I, V_n, W_n)$ каждую вершину $k \in K$ графа G заменим множеством вершин $I_k \subset I$ и каждую дугу $v_{kk'} \in V$ – множеством дуг $V_{kk'} \in V_I$. При этом каждая пара вершин $(i_k, i_{k'})$ (где $i_k \in I_k, i_{k'} \in I_{k'}$) соединяется дугой $v_{i_k, i_{k'}} \in V_{kk'}$, направленной от вершины i_k к вершине $i_{k'}$, если i_k вид информации необходим для совместной передачи / приема с $i_{k'}$ видом. Каждой вершине поставим в соответствие число $W_n(i_k) \in R^+$ (где R^+ – множество положительных чисел), определяющее размер пакета передаваемого вида информации i_k , необходимый для передачи пакетов всех видов информации, которым соответствуют вершины, связанные с вершиной i_k и направленные от нее к ним. Построенный граф G_{Π} характеризует размеры пакетов всех видов информации, необходимой для доставки в конечный пункт, а также порядок их доставки из разных участков.

Рассмотрим возможность использования графа G_{Π} для построения графа $G_T = (N, V_{\Pi})$, характеризующего маршрут (технология) доставки информации в конечный пункт доставки (построенный граф G_m не является взвешенным, и каждой его вершине не удастся поставить в соответствие число, однозначно определяющее время выполнения данной работы из-за простоя диспетчера). Для этого каждую вершину i_k графа G_{Π} заменим новой вершиной $N_{i_k} \in N$, соответствующей работе, посредством которой доставляется этот вид информации. Каждая вершина N_{i_k} графа G_T в свою очередь является последовательным графом $G_{i_k} = (P_{i_k}, V_{i_k}, W_{i_k})$ (с множеством вершин P_{i_k} , дуг

V_{i_k} , функций $W_{i_k} : P_{i_k} \rightarrow R^+$, определяющим последовательность составляющих данную работу элементов и ИО $P_{i_k} = (i_k l_1, \dots, i_k l_j, \dots, i_k l_{i_k})$, где каждый элемент характеризуется индексом принадлежности к l_j диспетчеру и индексом принадлежности к работе N_{i_k} . Функция $W_{i_k} \in R^+$ каждой вершине ставит в соответствие число $W_{i_k}(i_k l_j) = t_{i_k l_j}^0$, определяющее время выполнения данной операции.

Для задания в архитектуре ИТС требований по оперативности выполнения работ для каждого типа диспетчера $l_k \in L_k$ из участка с номером k определим матрицу времени перенастройки $M_{i_k} = \|t_{i_k l_k}^0\|$, $i_k \in I_k$ и, используя граф G_T , определим множество выполняемых этим типом диспетчера работ $N_{i_k} \subset N_k$.

При такой постановке в качестве критериев оценки расписаний могут выступать различные показатели, характеризующие динамику функционирования архитектуры ИТС, например: длительность технологического цикла, суммарное время простоев или перенастроек диспетчера. Варьируемым же параметром при этом может являться очередность передачи информации на всех первых (по ходу процесса) ИО. Это позволяет решение задачи оптимизации можно свести к определению оптимального для каждого типа диспетчера $l \in L$ порядка выполнения им ИО и моментов их начала.

АЛГОРИТМ ОБОСНОВАНИЯ РАСПИСАНИЙ РАБОТЫ ДИСПЕТЧЕРОВ

Особенностью решения задачи составления расписаний работы диспетчеров является необходимость учета двух факторов, характеризующих работу ИТС:

- энергозависимость ИО относительно используемого в них диспетчера;
- связанность по времени передачи видов информации.

Первый из этих факторов позволяет провести декомпозицию задачи оптимизации работы диспетчеров, второй – порождает проблему обеспечения синхронизации их работы.

Декомпозиция сформированной задачи определения расписания работы диспетчеров архитектуры ИТС основывается на:

- разбиении графа G на подграфы;
- решении для каждой вершины подграфа, соответствующей определенному участку, задачи составления расписаний;
- агрегировании результатов решения подзадач в общее решение задачи.

В результате разбиения графа G получим подграфы G^1, \dots, G^r , представляющие собой ранговую структуру вершин графа G с r -рангами. При этом ранговая структура строится в направлении от вершин множества \dot{K} , имеющих нулевую полустепень захода к вершине k^* , имеющей нулевую полустепень исхода. Затем, перейдя от графа G к графам G_T и G_{II} можно сформулировать для каждого участка отдельного подграфа задачу составления расписаний.

Проблему обеспечения синхронизации работы диспетчеров из разных участков на ИО можно уменьшить установлением определенного порядка доставки номенклатуры информации и фиксацией этого порядка для всех видов информации (работ) в соответствии с принадлежностью их к видам информации. Поэтому проблема синхронизации решается в направлении, обратном направлению декомпозиции задачи: от вершины k^* графа G к вершинам множества \dot{K} .

Рассмотрим процедуры, обеспечивающие осуществить такое упорядочение. Пусть $N' = N / N_{k^*}$.

1. Упорядочим все работы множества N_{k^*} , т.е. каждой работе $N_i \in N_{k^*}$ присвоим приоритет доставки различного размера пакета информации z_i .
2. Положим $z = 1$.
3. Выделим из N_{k^*} работу N_i , имеющую $z_i = z$, а из \dot{N} (используя граф G_T) все предшествующие работы из других участков, последовательность выполнения которых определяет технологию доставки i -ой информации.
4. Подмножествам выделенных работ из \dot{N} присвоим приоритет $z : \forall k \neq k^* N_k^z = \{N_1^z, \dots, N_\eta^z\}$, где η – число работ из участка с номером k .
5. Исключим из \dot{N} все вновь выделенные работы.
6. Если $\dot{N} = 0$, упорядочение закончено, в обратном случае положим $z = z + 1$ и вернемся к п. 3. Используя данные процедуры, получим: $\forall k N_k = N_k^{z_1} \dots \bigcup N_k^{z_2} \dots \bigcup N_k^{z_{k^*}}$, где $N_k^{z_i}$ – подмножество работ, имеющих общий приоритет z_i . Индуцируя $z_{k^*}!$ порядок выполнения работ из множества N_{k^*} (здесь приоритеты z играют роль варьируемых параметров задачи), можно получить столько же вариантов разбиения множеств N_k на подмножества N_k^z и соответственно столько же d -ых путей реализации составления расписаний диспетчером. Это в свою очередь позволит лицу, принимающему решения, сформировать искомое множество $\{d = const, z\}$.

Присвоение каждой работе приоритета передачи пакета информации позволяет устанавливать очередность начала выполнения работ в каждом участке вне зависимости от времени поступления информации на первые ИО этих работ. При этом, теряя, возможно, часть времени из-за иг-

норирования правила «первым пришел – первым обслужили», в конце концов, выигрываем, учитывая технологию доставки каждого вида информации.

После упорядочения работ составить расписание внутри каждого участка не представляет особых трудностей. Для этого, можно воспользоваться одной из известных диспетчеризаций в совокупности с одним из правил предпочтения (например: «RAN» – равновероятный выбор готовых к работе операций; «SPT» – выбор кратчайшей ИО; «MWKR» – выбор ИО, соответствующей работе с максимальной длительностью всех оставшихся ИО [3]. При этом, учитывая возможную многономенклатурность доставляемых диспетчером информации, время готовности l -го типа диспетчера к передаче i -го (следующего) вида информации рассчитывается следующим образом: $t_i'' = t_j' + t_j^P$, где t_j' – время окончания обработки l -м типом диспетчера j -го (предыдущего) вида информации.

Целиком алгоритм составления расписаний представляется в виде логической последовательности действий:

1. Граф G разбить на подграфы G^1, \dots, G^r .
2. Определенным образом упорядочить работы из множества N_{k^*} .
3. В соответствии с приоритетами работ из N_{k^*} установить приоритеты всем остальным работам.
4. Для каждого участка отдельного подграфа составить расписание выполнения работ. При этом рассматривать подграфы в соответствии их номерам: сначала G^1 , затем G^2 и т.д.; при составлении расписания, пре-

жде всего, назначать времена начала выполнения первой ИО работ, согласно их приоритетам, а затем всем остальным ИО, согласно выбранной диспетчеризации.

5. Если другие варианты упорядочения работ из множества N_{k^*} рассматриваться не будут, перейти к п. 6, в обратном случае к п. 2.
6. Выделить из множества допустимых расписаний Парето-оптимальное множество.
7. Выбрать лучшее расписание из множества по Парето.

Любая из приведенных диспетчеризаций, с помощью которой можно составить расписание функционирования архитектуры ИТС, представляет по существу алгоритм имитационного моделирования. При этом такой алгоритм реализует процесс имитации событийным способом, когда текущее время в модели отслеживается по мере наступления тех или иных событий, связанных с началом или завершением выполнения ИО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, качество решения задачи составления расписаний ухудшается при увеличении размерности задачи [3]. Вероятность получения оптимального решения еще более снижается при сложной сетевой структуре архитектуры ИТС. В связи с этим предложенный алгоритм позволяет преодолевать, прежде всего, трудности структурного характера. Полное же решение задачи определяется качеством упорядочения работ диспетчеров из N и составления расписаний внутри каждого участка выполнения информационно-расчетных задач ИТС.

Список использованных источников и литературы

1. Мистров Л.Е., Поляков О.В. Концептуальная модель синтеза архитектуры интеллектуальных тренажерных систем подготовки специалистов по применению радиоэлектронных объектов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2021. № 4 (62). С. 52–64.
2. Мистров Л.Е., Поляков О.В., Шацких В.М. Основы построения архитектуры интеллектуальных тренажеров подготовки специалистов по применению радиоэлектронных объектов // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2022. Т. 20, № 1–2. С. 57–73.
3. Конвей Р.В., Максвелл В.Л., Миллер Л.В. Теория расписаний. – М.: Наука, 1975. – 360 с.
4. Канцедал С.А. Декомпозиционный подход к решению задач теории расписания и большой размерности // Автоматика и телемеханика. 1983. № 10. С. 144–151.
5. Норенков И.П., Кузмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий CALC-технологий: монография. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.
6. Судов Е.В. Интегрированная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии. Методы: Монография. – М.: ООО Издательский дом «МВМ», 2003. – 264 с.

MODEL AND ALGORITHM OF LOGISTIC SUPPORT OF INTELLIGENT TRAINING SYSTEM ARCHITECTURE

Mistrov L.E., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of the VUNTS Air Force «VVA named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin» (Voronezh), Central Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «The Russian State University of Justice», Chief Specialist, Russian Standardization Institute

Kuchevsky K.V., head of the training complex of the VUNTS Air Force «VVA named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin» (Voronezh)

Polyakov O.V., teacher at the Air Force Educational Training Center «VVA named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin» (Voronezh)

The basis for training specialists to acquire decision-making skills for the use of complex radio-electronic objects in a variety of conditions of interaction with the external environment is the development of intelligent training systems (ITS). ITS is characterized by a large number of technological operations for the analysis, processing of information and the development of solutions based on it, a variety of software and hardware, a variety of options for their use and the specificity of the conditions of information processes in solving educational and training tasks. The functioning of ITS is provided on the basis of architectural solutions with the help of command controllers and related data, transforming the hierarchical structure into a network structure with serial and parallel assembly nodes.

The optimization of ITS functioning is based on the procedure for representing ITS in the form of a finite oriented acyclic graph with a set of vertices corresponding to one or more models involved in solving the problem. At the same time, the efficiency of work is determined by the matrix of the time of adjustment of dispatchers. This makes it possible to use the sequence of information transmission during the information process (operations) as variable parameters to assess the dynamics of the functioning of the ITS architecture. To ensure synchronization of their work, an algorithm is proposed to justify the work of dispatchers based on the selection and distribution of operations by the dispatcher. The model and algorithm are developed based on the provisions of the theories of schedules, graphs and decision-making.

Keywords: intelligent training system, architecture, command manager, data manager, schedule, distribution, operation, information, model, algorithm.

For citation: Mistrov L.E., Kuchevsky K.V., Polyakov O.V. Model and Algorithm of Logistic Support of Intelligent Training System Architecture. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2024; 4(79): 41–45. (In Russ.).

References

1. Mistrov L.E., Polyakov O.V. Conceptual model for the synthesis of the architecture of intelligent training systems for training specialists in the use of radio-electronic objects. Information and economic aspects of standardization and technical regulation, 2021, no. 4 (62), pp. 52–64.
2. Mistrov L.E., Polyakov O.V., Shatskikh V.M. Fundamentals of building the architecture of intelligent simulators for training specialists in the use of radio-electronic objects. Information-measuring and control systems, 2022, vol. 20, no. 1–2, pp. 57–73.
3. Conway R.V., Maxwell W.L., Miller L.V. Theory of schedules, Moscow: Nauka Publ., 1975, 360 p.
4. Kandedal S.A. Decomposition approach to solving problems of scheduling theory and large dimension. Automation and telemekhanics, 1983, no.10, pp. 144–151.
5. Norenkov I.P., Kuzmik P.K. Information support for high-tech products of CALC technologies: monograph. Moscow: Publishing house of MSTU im. N.E. Bauman Publ., 2002, 320 p.
6. Sudov E.V. Integrated support for the life cycle of engineering products. Principles. Technologies. Methods: monograph. Moscow: LLC Publishing House «MVM» Publ., 2003, 264 p.