

АЛГОРИТМЫ ПОИСКА УГРОЗ В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ ПРОЦЕССОВ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

И.С. Константинов, В.Т. Еременко

Орловский государственный технический университет

*Представлена директором ТамбовЦНИТ В.Е. Подольским и
членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым*

Ключевые слова и фразы: информационный обмен; поиск угроз; планирование пути достижения цели.

Аннотация: Функционирование многих распределенных управляющих систем носит целенаправленный характер. Типичным актом такого функционирования является решение задачи планирования пути достижения нужной цели в пространстве состояний процессов информационного обмена. В статье сформулирована задача поиска угроз в пространстве состояний процессов информационного обмена, представлен анализ направленных алгоритмов поиска, предлагается внутренняя организация распределенных управляющих систем в виде виртуальных комплексов и иерархических процессов.

Описание процессов информационного обмена в распределенной управляющей среде характеризуется следующими особенностями [1, 2]:

- наличием большого количества параметров, для которых не существует точных способов количественного измерения;
- сложностью построения адекватной модели (образа) объекта с учетом параметров и определения связи между ними;
- сложностью оценки поведения объектов и определения временного интервала для его прогнозирования;
- необходимостью разработки математических методов оценки достоверности имеющихся дополнительных знаний, не представимых классическими средствами.

В распределенных управляющих системах (РУС), каждая подсистема не может иметь полной информации о состоянии других: скорость изменения состояния по большей части сравнима со скоростью передачи информации об этом состоянии. Поэтому никакой элемент распределенной системы не может претендовать на роль «центра», который знает все о других элементах (т.е. имеет информацию о мгновенном состоянии всех элементов) и на этой основе может планировать работу (например, реконфигурацию) всей системы. Кроме того, такое планирование неизбежно носит ограниченный характер, поэтому возникают специфические вопросы надежности: какие действия и кто должен предпринимать при отказе лидера. В РУС возможны новые виды некорректностей, совершенно неизвестные в последовательном программировании: *взаимные блокировки* (дедлоки), когда каждая из нескольких подсистем, строго следуя своей программе, бесконечно ожидает действий других; *блокировка прогресса*, когда подсистемы беско-

нечно обмениваются запросами о состоянии друг друга не выполняя полезной работы; *несправедливость*, когда, например, один «сверхактивный» процесс может блокировать доступ к общему ресурсу всех других процессов и т.д.

Это позволяет утверждать, что разработка РУС и их анализ не могут быть выполнены исходя просто из здравого смысла на основе понимания работы каждой из составных частей и общих требований к системе. Распределенные системы имеют свою специфику, свои собственные трудности и требуют новых, неизвестных ранее способов их преодоления. Здесь даже ясное полное понимание алгоритма работы каждой подсистемы не позволяет понять свойства поведения всей РУС и избежать указанных выше некорректностей, суть которых состоит в сложности организации согласованного коллективного поведения процессов локальными средствами. Отмечено, что сложность РУС, приведенной к эквивалентной (в некотором смысле) последовательной системе, растет экспоненциально с ростом числа элементов: в распределенной системе существует множество перекрывающихся и накладывающихся друг на друга потоков управления; взаимодействия индивидуальных процессов системы может происходить асинхронно и не всегда надежно. С другой стороны, человеческий мозг не способен анализировать поведение параллельно протекающих информационных процессов – человек думает последовательно, и даже самый умный человек в каждый данный момент думает о чем-то одном.

Указанные обстоятельства приводят к необходимости построения средств анализа способных своевременно отслеживать и устранять возникающие коллизии на основе поиска угроз и своевременного информирования лиц, принимающих решения (ЛПР).

Постановка задачи поиска угроз в пространстве состояний процессов информационного обмена РУС. Принятие решения требует построения некоторого решающего алгоритма, позволяющего производить требуемое действие со множеством альтернатив и оставляющего право выбора решения за ЛПР и наличия в элементах встроенных агентов, контролирующих их внутреннее состояние.

Известно, что формирование плана по устранению угроз в пространстве состояний процессов информационного обмена РУС базируется на отношениях типа: «цель – подцель», «цель – действие», «действие – результат» [5]. Любой путь в этом сценарии, ведущий от вершины, соответствующей текущей ситуации, в любую из целевых вершин, определяет план действий.

Все задачи построения плана действий можно разбить на два типа, которым соответствуют различные модели: *планирование в пространстве состояний* (SS-проблема) и *планирование в пространстве задач* (PR-проблема).

В первом случае считается заданным некоторое пространство ситуаций. Описание ситуаций включает состояние внешнего мира и состояние РУС, характеризуемые рядом параметров. Ситуации образуют некоторые обобщенные состояния, а действия РУС или изменения во внешней среде приводят к изменению актуализированных в данный момент состояний. Среди обобщенных состояний выделены начальные состояния (обычно одно) и конечные (целевые) состояния. SS-проблема состоит в поиске пути, ведущего из начального состояния в одно из конечных.

При планировании в пространстве задач ситуация несколько иная. Пространство образуется в результате введения на множестве задач отношения типа: «часть – целое», «задача – подзадача», «общий случай – частный случай» и т. п. Другими словами, пространство задач отражает декомпозицию задач на подзадачи (цели на подцели). PR-проблема состоит в поиске декомпозиции исходной задачи на подзадачи, приводящей к задачам, решение которых системе известно.

Представим процессы информационного обмена в виде нечеткой ситуационной сети. В этом случае цель функционирования РУС будет заключаться в нахож-

дении нечеткого маршрута между текущей и целевой ситуациями. В условиях неполноты информации граф переходов известен лишь потенциально. Таким образом, возникает задача разработки метода порождения новых состояний из текущего, а также оценки возможностей построения пути из тупиковой вершины в терминальную. Это приводит к необходимости осуществления многоканального мониторинга объектов управления, обнаружения и идентификации типов событий (по множеству всех элементов); планирования (выбора) способов устранения коллизий и их последствий, передачи команд и данных агентам, обеспечивающим нейтрализацию угроз процессам информационного обмена. Рассмотрим граф состояний процессов информационного обмена

$$SG = (S, C, P),$$

где S – множество вершин, описывающих состояния с выделенным множеством начальных S_0 и конечных (терминальных) вершин T ; C – множество ребер графа, соответствующих возможным переходам из состояния в состояние и обозначающих степень достижения цели (возможность достижения множества T); P – вектор признаков состояния,

$$P = (P_1, \dots, P_n),$$

где $P_i = \{(p_i, \mu(p_i))\}$ – нечеткое множество влияния i -го параметра на достижение цели, $p_i \in P$, $i = \overline{1, N}$. Значения контролируемых параметров p_i изменяются в процессе функционирования РУС, а функции принадлежности $\mu(p_i)$ определяются на основе методов экспертных оценок.

Предположим, что система имеет m классов управления. Каждый класс содержит информацию о правилах перехода процессов информационного обмена в новое состояние SG . Тогда задачей РУС будет выбор j -го класса управляющих решений u_j

$$f(u_j) = (\lambda_j, m(p_i)) = \sum_i \lambda_{ji}, \mu_j(p_i) \rightarrow \max_j,$$

где $\lambda_j = (\lambda_{j1}, \dots, \lambda_{jn})$, $\lambda_{ji} \in [0, 1]$, $j = 1, \dots, m$, $i = 1, n$, $\mu(p) = (\mu_1(p_1), \dots, \mu_n(p_n))$; n – вектор оценки весов контролируемых характеристик.

Для решения поставленной задачи необходимо знание значений оценок весовых коэффициентов λ_{ji} , которые могут быть найдены на основе упорядочения характеристик по важности.

Представим РУС (рис. 1) в виде виртуальных комплексов и иерархических процессов, что позволяет рассматривать ее, как многомерную совокупность гибких распределенных агентов, обеспечивающих многофакторную и многокритериальную адаптацию режимов, алгоритмов, ресурсов и параметров настройки на процессы информационного обмена. При этом угрозы могут быть представлены в виде классов обслуживания, т.е. производится разбиение пространства качества на множество областей, обеспечивающих:

- априорный и динамический выбор уровня качества от угроз процессам информационного обмена;
- выбор режимов, протоколов, механизмов, ресурсов, параметров системы контроля (настройка на требуемое качество);
- выполнение (регулирование) процессов обнаружения неисправностей.

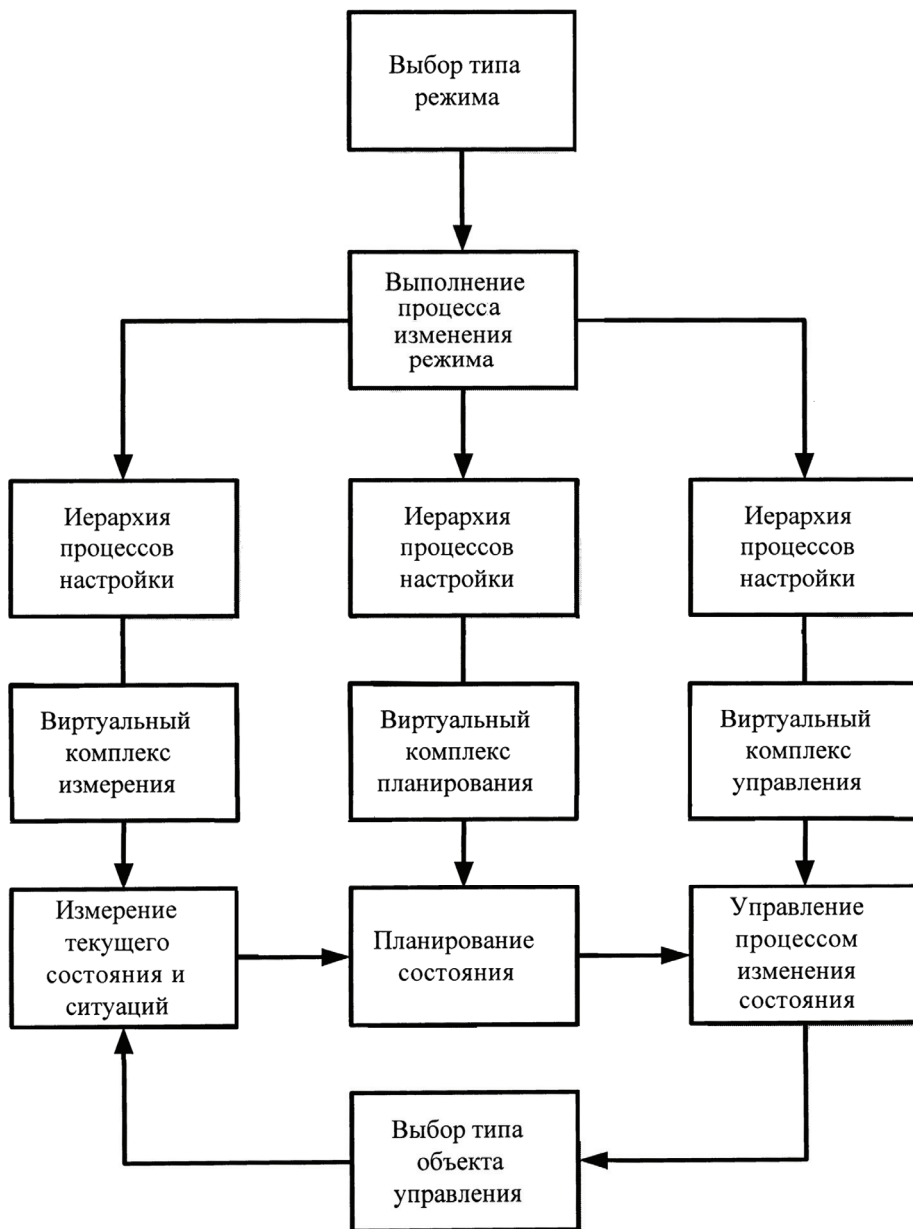


Рис. 1 Внутренняя организация распределенной управляющей системы в виде иерархических процессов и виртуальных комплексов

Решение задач методом поиска в пространстве состояний. Представление задач в пространстве состояний предполагает задание ряда описаний: состояний, множества операторов и их воздействий на переходы между состояниями, целевых состояний. Описания состояний могут представлять собой строки символов, векторы, двумерные массивы, деревья, списки и т. п. Операторы переводят одно состояние в другое. Иногда они представляются в виде продукций $A \Rightarrow B$, означающих, что состояние A преобразуется в состояние B . Пространство состояний можно представить как граф, вершины которого помечены состояниями, а дуги – операторами.

Таким образом, проблема поиска решения задачи $\langle A, B \rangle$ при планировании по состояниям представляется как проблема поиска на графе пути из A в B . Обычно графы не задаются, а генерируются по мере надобности.

Различаются *слепые* и *направленные методы поиска пути*. Слепой метод имеет два вида: *поиск вглубь* и *поиск вширь*. При поиске вглубь каждая альтернатива исследуется до конца, без учета остальных альтернатив. Метод плох для «высоких» деревьев, так как легко можно проскользнуть мимо нужной ветви и затратить много усилий на исследование «пустых» альтернатив. При поиске вширь на фиксированном уровне исследуются все альтернативы и только после этого осуществляется переход на следующий уровень. Метод может оказаться хуже метода поиска вглубь, если в графе все пути, ведущие к целевой вершине, расположены примерно на одной и той же глубине. Оба слепых метода требуют большой затраты времени и поэтому целесообразно применение направленных методов поиска, рассмотренных ниже.

Метод ветвей и границ. Из формирующихся в процессе поиска неоконченных путей выбирается самый короткий и продлевается на один шаг. Полученные новые неоконченные пути (их столько, сколько ветвей в данной вершине) рассматриваются наряду со старыми, и вновь продлевается на один шаг кратчайший из них. Процесс повторяется до первого достижения целевой вершины, решение запоминается. Затем из оставшихся неоконченных путей исключаются более длинные, чем законченный путь, или равные ему, а оставшиеся продлеваются по такому же алгоритму до тех пор, пока их длина меньше законченного пути. В итоге либо все неоконченные пути исключаются, либо среди них формируется законченный путь, более короткий, чем ранее полученный. Последний путь начинает играть роль эталона.

Алгоритм кратчайших путей Мура. Исходная вершина X_0 помечается числом 0. Пусть в ходе работы алгоритма на текущем шаге получено множество дочерних вершин $X(x_i)$ вершины x_i . Тогда из него вычеркиваются все ранее полученные вершины, оставшиеся помечаются меткой, увеличенной на единицу по сравнению с меткой вершины x_i , и от них проводятся указатели к X_i . Далее на множестве помеченных вершин, еще не фигурирующих в качестве адресов указателей, выбирается вершина с наименьшей меткой и для нее строятся дочерние вершины. Разметка вершин повторяется до тех пор, пока не будет получена целевая вершина.

Алгоритм Дейкстры определения путей с минимальной стоимостью является обобщением алгоритма Мура за счет введения дуг переменной длины.

Алгоритм Дорана и Мичи поиска с низкой стоимостью. Используется, когда стоимость поиска велика по сравнению со стоимостью оптимального решения. В этом случае вместо выбора вершин, наименее удаленных от начала, как в алгоритмах Мура и Дейкстры, выбирается вершина, для которой эвристическая оценка расстояния до цели наименьшая. При хорошей оценке можно быстро получить решение, но нет гарантии, что путь будет минимальным.

Алгоритм Харта, Нильсона и Рафаэля. В алгоритме объединены оба критерия: стоимость пути до вершины $g(x)$ и стоимость пути от вершины $h(x)$ – в аддитивной оценочной функции $f(x) = g(x) + h(x)$. При условии $h(x) < hp(x)$, где $hp(x)$ – действительное расстояние до цели, алгоритм гарантирует нахождение оптимального пути.

Алгоритмы поиска пути на графе различаются также направлением поиска. Существуют прямые, обратные и двунаправленные методы поиска. Прямой поиск

идет от исходного состояния и, как правило, используется тогда, когда целевое состояние задано неявно. Обратный поиск идет от целевого состояния и используется тогда, когда исходное состояние задано неявно, а целевое явно. Двухнаправленный поиск требует удовлетворительного решения двух проблем: смены направления поиска и оптимизации «точки встречи». Одним из критериев для решения первой проблемы является сравнение «ширины» поиска в обоих направлениях – выбирается то направление, которое сужает поиск. Вторая проблема вызвана тем, что прямой и обратный пути могут разойтись и чем уже поиск, тем это более вероятно.

Проблема оценки угроз в процессах информационного обмена для РУС имеет очень важное значение, обостренная, в первую очередь, тем, что от распределенных агентов на вход подсистемы управления будет поступать часто неполная, а иногда и противоречивая информация. Этот недостаток в значительной мере устраняется за счет предлагаемого подхода к организации процессов информационного обмена для РУС в виде виртуальных комплексов и иерархических процессов. Кроме того предлагаемый подход позволяет:

- 1) производить оценку не доопределенных факторов процессов информационного обмена;
- 2) привлекать дополнительную информацию (пополнять знания) с целью уточнения функциональных зависимостей контролируемых характеристик;
- 3) оценивать адекватность комплекса моделей процессов информационного обмена в текущем пространстве состояний;
- 4) строить новое пространство состояний на основе сценариев принятия решений должностными лицами системы управления;
- 5) производить поиск (идентификацию) пространства возникновения угроз и осуществлять априорное и апостериорное определение типов угроз и коллизий;
- 6) производить поиск распределения множества агентов в пространстве угроз и распределять множество типов алгоритмов обнаружения угроз по множеству агентов;
- 7) формировать планы предотвращения угроз, включая обнаружение и устранение логических ошибок протоколов информационного обмена.

Список литературы

1. Еременко В.Т. Теоретические основы построения распределенных управляющих систем с использованием структурно-функционального подхода / В.Т. Еременко, Н.А. Туякбасарова. – Курск: Курский институт менеджмента, экономики и бизнеса, 2003. – 124 с.
2. Еременко В.Т. Алгоритмические методы повышения безопасности автоматизированных систем управления / В.Т. Еременко, С.В. Костин // Известия ОрелГТУ. Серия «Информационные системы и технологии». – Орел: ОрелГТУ, 2003. – С. 225-228.
3. Мушник Э. Методы принятия технических решений: Пер. с нем. / Э. Мушник, П. Мюллер. – М.: Мир, 1990. – 208 с.

Algorithm of Threat Search in the State Space of Information Exchange for Distributed Control System

I.S. Konstantinov, V.T. Eremenko

Orel State Technical University

Key words and phrases: information exchange; threat search; planning of the target achievement.

Abstract: Functioning of various distributed control systems is purposeful. Typical act of such functioning is the solution of the problem of planning of the target achievement in the state space of information exchange. The task of threat search in the state space of information exchange is formulated, analysis of direct search algorithms is presented, the inner structure of distributed control systems in the form of virtual complexes and hierarchical processes is given.

Algorithmen des Suchens der Bedrohungen im Raum der Zustände der Prozesse des Informationsaustausches des verteilten Steuerungssystems

Zusammenfassung: Das Funktionieren von vielen verteilten Steuerungssystemen hat den zielgerichteten Charakter. Ein typischer Akt solches Funktionierens ist die Lösung der Aufgabe der Planung des Weges der Erreichung des nötigen Zwecks im Raum der Zustände von Prozessen des informativen Austausches. Im Artikel ist die Aufgabe des Suchens der Bedrohungen im Raum der Zustände der Prozesse des informativen Austausches formuliert. Es ist die Analyse der gerichteten Algorithmen des Suchens vorgestellt. Es wird die innere Organisation der verteilten Steuerungssysteme als die virtuellen Komplexe und die hierarchischen Prozesse vorgeschlagen.

Algorithmes de la recherche des dangers dans l'espace des états des processus de l'échange informationnel du système gestionnaire de répartition

Résumé: Le fonctionnement de beaucoup de systèmes gestionnaires de répartition a le caractère ciblé. L'acte typique d'un tel fonctionnement est la solution du problème de la planification de la voie de la réalisation de la tâche nécessaire dans l'espace des états des processus de l'échange informationnel. Dans l'article est formulé l'objectif de la recherche des dangers dans l'espace des états des processus de l'échange informationnel, est présentée l'analyse des algorithmes ciblés de la recherche, est proposée l'organisation intérieure des SGR en forme de complexes virtuels et des processus hiérarchiques.
