

УДК 519.688:004.896

В.В. Бескорвайный, Е.В. Соболева

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА НАПРАВЛЕННОГО ПЕРЕБОРА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТОПОЛОГИИ СИСТЕМ С РАДИАЛЬНО-УЗЛОВЫМИ СТРУКТУРАМИ

Предлагается эвристическая модификация комбинаторного метода направленного перебора локальных экстремумов функции цели для решения задачи структурно-топологической оптимизации трехуровневых централизованных территориально распределенных систем. Приведены результаты экспериментального исследования точности и сложности предложенной модификации метода.

Ключевые слова: *территориально распределенная система, синтез, структура, топология, оптимизация, модель, метод, алгоритм.*

Введение

Постановка проблемы. Одной из задач, возникающих при проектировании и управлении крупномасштабными объектами мониторинга, связи, транспорта, управления, является построение эффективных схем передачи информации, транспортировки человеческих, материальных, энергетических ресурсов. С ростом масштабов таких объектов их стоимостные и функциональные характеристики становятся все более зависимыми от топологии, т.е. пространственной организации. Это требует совместно с традиционными задачами структурного синтеза решать комплексы задач топологической оптимизации объектов и, таким образом, приводит к проблеме их структурно-функционально-параметрического и топологического синтеза [1 – 5].

В процессе решения проблемы осуществляется ее декомпозиция на задачи мета-, макро- и микроуровня [6]. При этом одной из важнейших задач микроуровня является задача структурно-топологического синтеза территориально распределенных систем (ТРС), которая состоит в доопределении варианта ее построения (при заданных технологии

функционирования, параметрах элементов и связей) количеством узлов (подсистем), связями между ними и их территориальным размещением (топологией) [7 – 9]. При этом многие объекты строятся по трехуровневой централизованной схеме, т.е. имеют радиально-узловую структуру.

Важность выбора обоснованных решений на всех этапах создания и управления ТРС, требуемые при этом значительные материальные, временные и финансовые затраты делают необходимыми совершенствование существующих и разработки новых более эффективных математических моделей и методов, постановку и исследование новых задач анализа и синтеза подобных объектов.

Анализ литературы. Анализ задач синтеза топологических структур ТРС в различных постановках показал, что большинство из них относится к классу комбинаторных. Все методы их решения деляются на точные (комбинаторные) и приближенные (включая эвристические) [5, 10 – 12].

Комбинаторные методы предполагают полный или направленный перебор всевозможных вариантов топологических структур. Методы отсечения могут быть использованы, только в тех случаях, ко-

гда целевая функция и функции ограничений линейны. Тогда задача может рассматриваться как частный случай задачи целочисленного линейного программирования, что существенно сужает область их практического применения [10, 11]. К числу наиболее часто используемых методов этой группы относятся также методы, использующие схемы направленного перебора. При этом предполагается, что в системе используются однотипные узлы и каналы связи, а огибающая локальных экстремумов функции затрат от количества узлов системы является одноэкстремальной [13 – 15]. Реализация этого подхода может осуществляться путем последовательной оптимизации вариантов топологических структур в направлении увеличения (стратегия Add) или уменьшения (стратегия Drop) количества элементов (узлов) системы [11]. Временная сложность большинства методов этой группы имеет порядок от C_n^m до 2^n (где n – количество мест возможного размещения элементов системы; m – количество элементов системы) [5, 15]. С учетом современного развития средств вычислительной техники это ограничивает область их применения системами с относительно небольшим количеством элементов (в зависимости от вида задачи до 50-60).

Возможность некоторого расширения области применения комбинаторных методов появляется при использовании подхода, основанного на исключении изоморфных вариантов [16].

Приближенные методы находят широкое применение при решении задач большой размерности. Среди них выделяются методы, использующие случайный поиск, методы, использующие случайный поиск с локальной оптимизацией и методы, схемы которых учитывают специфику задач. К числу наиболее эффективных методов этой группы могут быть отнесены методы эволюционного синтеза, реализуемые с помощью генетических алгоритмов [17 – 18] и методы, использующие схемы покоординатной оптимизации [5, 15]. При этом методы эволюционного синтеза хорошо приспособлены для решения многокритериальных задач, но уступают методам на основе покоординатной оптимизации по комплексному показателю "точность-сложность" при решении задач по показателю затрат. Методы на основе покоординатной оптимизации обладают относительно низкой временной сложностью, однако не гарантируют получение точных решений.

С учетом этого актуальной остается задача разработки методов структурно-топологической оптимизации, имеющих более низкую временную сложность, чем комбинаторные методы и большую точность, чем известные приближенные методы.

Цель статьи – модификация в направлении снижения временной сложности и исследование эффективности модифицированного метода направленного перебора для решения задачи структурно-топологического синтеза трехуровневых территориально распределенных систем.

Основная часть

Постановка и математическая модель задачи.

В радиально-узловых (трехуровневых централизованных) структурах каждый из элементов системы связывается с ее центром через один из узлов. Во многих случаях считается, что центры и узлы ТРС могут размещаться в непосредственной близости от одного из элементов. Исходя из этого, предполагается, что центр и узлы системы может размещаться на базе одного из элементов.

Задача структурно-топологического синтеза рассматривается в следующей постановке [8]. Заданы: множество рассредоточенных по территории элементов системы $E_l = \{e_l\}$, $l = \overline{1, n_E}$ и их характеристики, типы узлов и связей, на базе которых создается система, места возможного размещения ее узлов G и основные положения технологии ее функционирования. При этом предполагается, что в системе используются узлы и связи, мощности которых достаточны для обслуживания закрепленных элементов. Необходимо определить: место размещения центра (центрального узла); оптимальное количество узлов (подсистем) системы n_U^0 ; места их размещения $Y = \{y_i^g\}$, $i = \overline{1, n_U^0}$, $g \in G$; множества элементов, непосредственно связанных с каждым из узлов $E_j = \{e_j\}$, $j = \overline{1, n_U^0}$. При этом желательной целью является экстремизация выбранных частных критериев эффективности: затрат, оперативности; живучести; надежности.

Разновидностями сформулированной задачи являются задачи, когда заданы: место размещения центрального узла; количество узлов; максимальное количество подключаемых к узлу элементов; места возможного размещения узлов не совпадают с местами размещения элементов и т.д. В подавляющем большинстве задач синтеза и оптимизации ТРС в качестве единственного или основного критерия выступают затраты на ее создание и (или) эксплуатацию. Затраты на ТРС можно представить состоящими из затрат на ее центр C_C , узлы C_U , элементы C_E , связи между узлами и центром C_{UC} , связи между элементами и узлами C_{EU} :

$$C = C_C + C_U + C_{UC} + C_E + C_{EU}. \quad (1)$$

Для формализованного представления топологической структуры ТРС используем аппарат теории графов: элементы, узлы и центр будем представлять вершинами графа, а связи между ними – его дугами. Для задания графа используем матрицу смежности $R = [r_{ij}]$, $i, j = \overline{1, n_E}$, где $r_{ij} = 1$, если вершины i и j связаны дугой, $r_{ij} = 0$ – в противном случае. Для всех вершин $i = \overline{1, n_E}$, отображающих элементы, на базе которых размещаются узлы $r_{ii} = 1$.

При использовании в качестве показателя затрат

на ТРС ее стоимости C соответствующий критерий может быть представлен в виде:

$$C = C_C + \sum_{i=1}^{n_E} (c_U + c'_{iC} + c'_{Ci})r_{ii} + c_E n_E + \sum_{i=1}^{n_E} \sum_{j=1}^{n_E} c_{ij}r_{ij} \rightarrow \min_{r_{ij}}, \quad (2)$$

где C_C – стоимость центра; n_E – количество элементов, входящих в состав системы; c_U – стоимость узла; c'_{iC} , c'_{Ci} – стоимости связи i -го узла с центром и центра с i -м узлом; c_E – стоимость элемента; c_{ij} – стоимость связи между элементами i и j .

Ограничения: каждый элемент должен быть связан с одним из узлов, т.е. $\sum_{i=1}^{n_U} r_{ij} = 1$ для всех $j = \overline{1, n_E}$, для которых $r_{jj} = 0$; к узлу должно быть

подключено не менее одного элемента $\sum_{i=1}^{n_E} r_{ij} \geq 1$ для всех $j = \overline{1, n_U}$, для которых $r_{jj} = 1$; общее количество связей $\sum_i \sum_j r_{ij} = 2(n_E - 1) + n_U$, где n_U – количество

узлов в системе, $n_U = \sum_i r_{ii}$; элемент j присоединяется к узлу i по минимуму стоимости $\min_i c_{ij}$; каждый из узлов $i = \overline{1, n_U}$ связывается с центром, т.е. $r_{ii} = 1 \rightarrow r_{iC} = 1$ и $r_{Ci} = 1$; узлы не связываются между собой, т.е. $(r_{ii} = 1 \text{ и } r_{jj} = 1) \rightarrow (r_{ij} = 0 \text{ и } r_{ji} = 0)$; количество узлов n_U может меняться от 0 до n_E , т.е.

$$1 \leq \sum_{i=1}^{n_E} r_{ii} \leq n_E.$$

Базовый метод решения задачи. Характер функций $C(n_U)$ (1), (2) позволяет использовать для решения задачи синтеза радиально-узловой топологической структуры ТРС идею направленного перебора *MDR* (*Method of directed recalculation*). Направленный перебор вариантов можно осуществлять по количеству узлов в системе и местам их размещения. Реализуя различные стратегии перебора по количеству узлов и местам их размещения, получим множество различных модификаций или методов решения задачи.

Идея базового метода направленного перебора *MDR* заключается в следующем [15].

Определить начальное значение допустимого количества узлов n'_U , необходимых для обслуживания всего множества элементов (в частности $n'_U = 1$).

Для заданного количества узлов $n_U = n'_U$ по ми-

нимуму стоимости $\min_i c_{ij}$ (где c_{ij} – стоимость связи между элементом j и узлом i) решить задачу наилучшего размещения узлов и распределения множества элементов по узлам $El_k = \{el_i\}$, $k = \overline{1, n_U}$. Определить стоимость полученного варианта $C(n_U)$.

Изменять количество узлов в системе $n_U := n_U \pm 1$ и решать задачу распределения множества элементов по узлам до получения наилучшего решения по критерию стоимости $n_U^0 = \arg \min C(n_U)$.

Для решения задачи размещения узлов и распределения множества элементов по подсистемам предлагается эвристическая модификация метода направленного перебора.

Модификация метода направленного перебора. Предлагаемый метод сокращенного перебора основан на определении пар взаимно альтернативных мест размещения узлов и исключение из перебора структур, содержащих такие пары узлов.

Анализ многочисленных решений задач структурно-топологического синтеза ТРС с радиально-узловыми структурами (рис. 1) привел к следующему наблюдению: в подавляющем большинстве случаев граф, соответствующий оптимальной топологической структуре, содержит в себе ветви, соединяющие каждый узел с ближайшим к нему элементом, т.е. в список элементов $El_j = \{el_i\}$, подключенных к узлу j , входит ближайший к нему $el_{i^0} \in El_j$, $i^0 = \arg \min_i c_{ji}$, $\forall j = \overline{1, n_U^0}$.

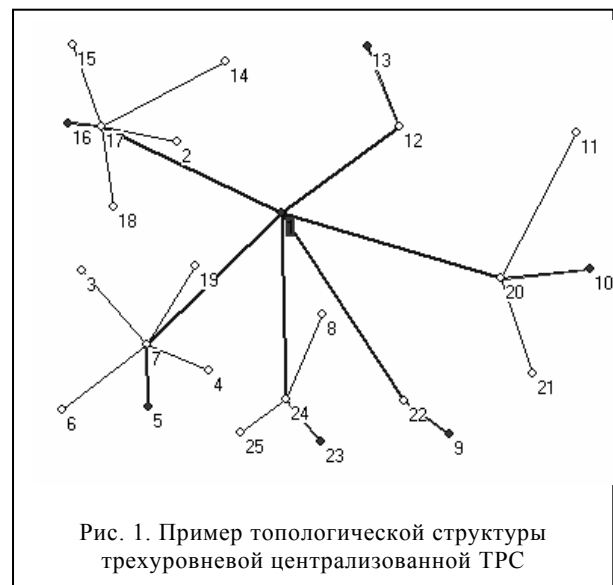


Рис. 1. Пример топологической структуры трехуровневой централизованной ТРС

Исходя из этого сделано предположение: на базе двух ближайших элементов одновременно не могут создаваться узлы. Если один из них является узлом, то другой принадлежит множеству связанных с ним элементов:

$$(el_{i^0}, el_{j^0}), i^0 = \arg \min_i c_{j^0 i}, j^0 = \arg \min_j c_{i^0 j},$$

$$i^0 \neq j^0 \neq 1, r_{i^0 i^0} = 1 \rightarrow el_{j^0} \in El_{i^0}. \quad (3)$$

Пару элементов (el_{i^0}, el_{j^0}) назовем альтернативными местами создания узлов. С учетом этого поиск решения задачи структурно-топологического синтеза трехуровневой централизованной ТРС может быть осуществлен на сокращенном множестве вариантов. Для этого изначально определяется множество неупорядоченных пар альтернативных элементов с точки зрения мест возможного создания узлов $A = \{(el_{i^0}, el_{j^0})\}$. В процедуру направленного перебора вариантов размещения узлов включается проверка условия: является ли пункт, претендующий на место размещения нового узла, альтернативным к какому-либо уже закрепленному в варианте структуры узлу. Если нет, то перебор вариантов структур продолжается без изменений, в противном случае – варианты с размещением узла в этом пункте не рассматриваются.

Количество отбрасываемых потенциально неэффективных вариантов топологических структур для такой модификации метода напрямую зависит от мощности множества A .

Анализ эффективности модифицированного метода направленного перебора. Для оценки точности и временной сложности предложенной модификации метода с помощью специально разработанного программного средства было проведено 100 тысяч экспериментов для $n_E = 20$. С помощью генератора случайных чисел (с равномерным распределением) генерировались координаты мест размещения элементов ТРС, осуществлялся поиск оптимальной топологической структуры ТРС методом направленного перебора и модифицированным методом направленного перебора. В качестве показателей эффективности модифицированного метода использовались: вероятность ошибки (получения неточного решения); максимальная и средняя относительные погрешности ($\delta C = |C^o - \tilde{C}^o| / C^o$, где C^o и \tilde{C}^o – минимальные значения стоимости ТРС, полученные с помощью базового и модифицированного методов); среднее относительное сокращение количества анализируемых вариантов топологий ($\delta N = |N^o - \tilde{N}^o| / N^o$, где N^o и \tilde{N}^o – количества вариантов топологий ТРС, анализируемых в ходе решения задачи с помощью базового и модифицированного методов); среднее относительное сокращение времени решения задачи.

Ввиду малой вероятности получения неоптимальных решений относительная погрешность ус-

реднялась только для ненулевых ее значений, а средние относительные сокращения количества вариантов топологий и времени решения задачи определялись только для случаев получения оптимального решения.

Предложенная модификация метода направленного перебора позволяет получить оптимальный вариант структуры ТРС в 99,6% случаев: для 0,36% экспериментов погрешность составила менее 1%; погрешность менее 2% была получена в 0,034% случаев (рис. 2).

Сокращение количества анализируемых структур зависит от количества элементов p , для которых можно выделить альтернативный и от оптимального количества узлов n_U^o (чем оно больше, тем больше сокращение) (табл. 1, 2). Средний выигрыш по времени решения задачи δt составил 27,62%, средний выигрыш по количеству анализируемых вариантов $\delta N - 34,76\%$.

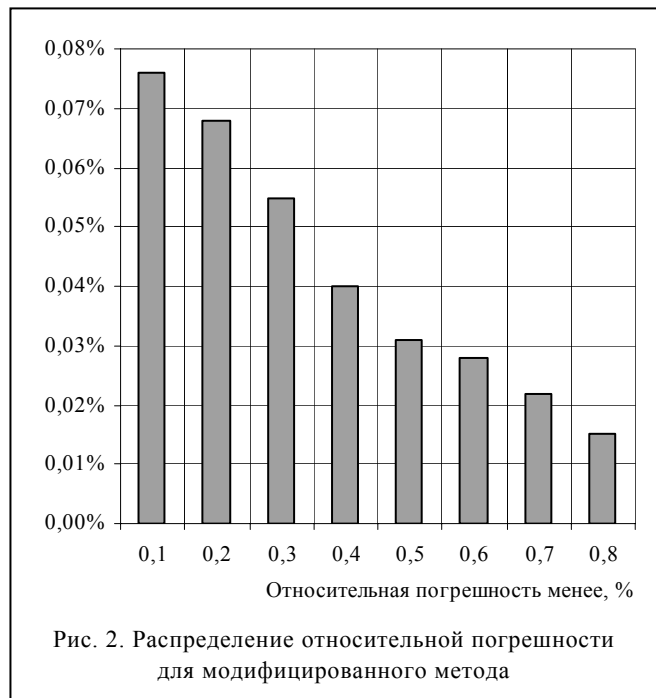


Рис. 2. Распределение относительной погрешности для модифицированного метода

Таблица 1

Относительное сокращение времени решения задачи δt

p	Оптимальное количество узлов n_U^o					
	2	3	4	5	6	7
2			4,89	7,85	11,43	16,16
3		4,70	12,49	16,58	20,00	22,96
4	13,33	7,48	16,36	21,68	26,35	29,85
5	33,07	9,91	20,30	26,45	32,15	37,26
6	26,83	14,27	23,80	31,17	37,77	44,02
7	15,40	17,95	27,39	35,44	42,63	49,18
8		27,05	30,03	40,11	47,53	53,27
9			31,59	42,52	50,47	59,33
δt_{cp}	25,24	12,08	21,95	29,18	36,18	42,93

Таблица 2
Относительное сокращение количества анализируемых вариантов δN

p	Оптимальное количество узлов n_U^0					
	2	3	4	5	6	7
2			9,89	10,82	23,00	29,14
3		9,72	15,36	22,23	30,10	36,76
4	6,54	12,59	20,22	28,76	37,84	45,29
5	8,59	15,56	24,66	34,76	45,03	54,52
6	10,25	18,63	29,11	40,61	51,95	62,72
7	11,79	21,31	33,42	45,95	57,88	69,02
8		23,91	37,43	51,30	63,97	74,24
9			42,04	55,63	67,69	80,92
δN_{cp}	9,02	16,79	26,82	38,12	49,96	61,41

Анализ результатов решений, получаемых модифицированным методом, позволил установить, что с ростом количества элементов ТРС n_E погрешность решения сокращается (табл. 3), а ошибка при использовании предложенной эвристики возникает в случае совпадения следующих факторов: существует такая пара взаимно альтернативных элементов, что расстояние между ними соизмеримо с расстоянием одного из них до центра (назовем такой элемент слабо альтернативным); существует элемент, находящийся в секторе слабо альтернативного, но дальше от центра, отстоящий ото всех узлов и от слабо альтернативного элемента ровно на столько, что в пункте размещения последнего целесообразно поместить узел. С учетом этого вероятность ошибки p_0 можно сократить, если из множества пар взаимно альтернативных элементов заранее исключить слабо альтернативные пары.

Таблица 3
Зависимость погрешности решений от количества элементов ТРС n_E

n_E	10	15	20	30
p_0	0,00502	0,00447	0,00396	0,004
$\delta C_{max}, \%$	9,98	3,67	3,18	3,0
$\delta C_{cp}, \%$	1,16	0,64	0,47	0,43

Количество вариантов топологических структур, получаемое при реализации сокращенного перебора равно:

$$\tilde{N}^0 = \sum_{n_U=1}^{\tilde{n}_U^0+1} \left[C_{n_E}^{n_U} + \sum_{i=1}^p (1)^p C_{n_E}^{n_U} 2^i C_p^i \right], \quad (4)$$

где \tilde{n}_U^0 – оптимальное количество узлов, полученное модифицированным методом; $p = \text{Card}(A)$ – мощность множества альтернатив A .

Уменьшение времени решения задачи при использовании модифицированного метода зависит от количества узлов в полученном варианте построения ТРС. Оно, в свою очередь, зависит от соотно-

шения затрат на один узел, а также единицу длины связей элемент-узел и узел-центр. При $\tilde{n}_U^0 = n_U^0$ сокращение количества перебираемых вариантов топологий определяется суммой вторых слагаемых (4).

Предположение (3) содержит условие взаимной близости двух элементов и позволяет строить дерево решений вне зависимости от их порядковых номеров. Сняв это условие, при переборе мест размещения первый элемент, попавший в список узлов, будет иметь приоритет: ближайший к нему элемент игнорируется вне зависимости от того, какой элемент является ближайшим для него самого. С учетом этого предложено усовершенствование модифицированного метода направленного перебора в направлении снижения его временной сложности. Суть его состоит в следующем.

Изначально определяется множество $A' = \{(e_i, e_{j^0})\}$, $i = \overline{1, b}$, содержащее упорядоченные пары альтернативных элементов (e_i, e_{j^0}) ,

$j^0 = \arg \min_j c_{ij}$, $j^0 \neq 1$. В процедуру направленного

перебора вариантов размещения узлов включается проверка условия: является ли элемент, претендующий на место размещения нового узла, альтернативным к какому-либо уже закрепленному в варианте структуры узлу. Если нет, то перебор осуществляется без изменений, в противном случае – данный пункт пропускается.

В виду того, что мощность множества A' больше мощности множества A , это сокращает множества анализируемых при синтезе вариантов топологических структур, но уменьшает и точность модификации метода.

Для оценки эффективности упрощенной модификации метода были проведены 100 тысяч экспериментов на структурах с $n_E = 20$. Вероятность получения точного решения составила 97,89% (для 1,89% экспериментов погрешность составила менее 1%; погрешность менее 2% была получена в 0,21% случаев). Относительное сокращение времени перебора составило 45,65%, количества анализируемых структур – 47,83%.

Выводы

Предложенные модификации метода направленного перебора локальных экстремумов функции цели позволяют определять рациональные значения количества подсистем, места их размещения, подмножества связанных элементов, а также затрат на создание и эксплуатацию ТРС с радиально-узловыми структурами. При этом время решения задачи по отношению к базовому методу снижаются приблизительно на треть, а погрешность для предложенного метода и его упрощенной модификации в среднем соответственно составляет менее 0,002% и 0,01%.

Применение предложенных модификаций метода направленного перебора позволит решать с их помощью задачи структурно-топологического синтеза большей размерности, повысить точность решений по сравнению с приближенными методами и, на этой основе, сократить затраты на создание и эксплуатацию ТРС.

Направлениями дальнейших исследований в этой области могут стать: повышение точности получаемых решений путем формирования множества потенциально выгодных мест размещения узлов на основе других принципов; снижение временной и емкостной сложности метода путем более жесткого отбора элементов множества потенциально выгодных мест размещения узлов; развитие метода в направлении возможности учета существующих коммуникаций для связей центра, узлов и элементов системы, а также учета зависимости затрат на узлы и связи от количества (веса) подключаемых элементов; применение предложенной эвристики сокращения количества анализируемых вариантов в других методах и алгоритмах структурно-топологической оптимизации ТРС.

Список литературы

1. Цвиркун А.Д., Акинфиев В.К. Структура многоуровневых и крупномасштабных систем. Синтез и планирование развития. – М.: Наука, 1993. – 160 с.
2. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Построение сетей интегрального обслуживания. – Л.: Машиностроение, 1990. – 332 с.
3. Виноцкий В.П., Хиленко В.В. Методы системного анализа и автоматизации проектирования телекоммуникационных сетей. – К.: Интерлинк, 2002. – 191 с.
4. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проектирование телекоммуникационных сетей. – К.: Техніка, 2002. – 792 с.
5. Петров Э.Г., Пискалова В.П., Бескоровайный В.В. Территориально распределенные системы обслуживания. – К.: Техніка, 1992. – 208 с.
6. Бескоровайный В.В. Системологический анализ проблемы структурного синтеза территориально распределенных систем // АСУ и приборы автоматики. – 2002. – Вып. 120. – С. 29-37.
7. Бескоровайный В.В. Синтез логической схемы системного проектирования территориально распре-

деленных объектов // Радиоэлектроника и информатика. – 2002. – № 3. – С. 94-96.

8. Бескоровайный В.В. Структурно-топологический синтез систем с радиально-узловыми структурами // АСУ и приборы автоматики. – 2003. – Вып. 120. – С. 29-37.

9. Алгоритм оптимізації розміщення пожежних депо при проектуванні нових районів міст (реконструкції існуючих) / В.М. Комяк, А.Г. Косе, О.К. Пандорін, О.В. Панкратов // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2000. – Вип. 68. – С. 62-64.

10. Денисов А.А., Колесников Д.Н. Теория больших систем управления. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 288 с.

11. Зайченко Ю.П., Гонга Ю.В. Структурная оптимизация сетей ЭВМ. – К.: Техніка, 1986. – 168 с.

12. Годлевский М.Д., Воловицков В.Ю. Модель статической задачи структурного синтеза корпоративной информационно-вычислительной системы // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 2/2 (20). – С. 110-113.

13. Петров Э.Г., Болотов А.Б., Бескоровайный В.В. Алгоритм структурно-топологической оптимизации централизованных сетевых систем // Механизация и автоматизация управления. – 1986. – № 1. – С. 28-31.

14. Technick und Technologie des Fernmeldewessens. Optimierung von Telekommunikationsnetzen. Optimale Knoten / Verfasst von L. Schade. – Dresden: Zentralst. fuer HSFS, 1991. – 64 s.

15. Бескоровайный В.В. Модификация метода направленного перебора для синтеза топологии систем с радиально-узловыми структурами // АСУ и приборы автоматики. – 2003. – Вып. 123. – С. 110-116.

16. Свирицева Э.А. Структурный синтез неизоморфных систем с однородными компонентами. – Х.: ХТУРЭ, 1998. – 256 с.

17. Бескоровайный В.В., Имангулова З.А. Генетический алгоритм структурной оптимизации централизованных многоуровневых ИВС // Вестник Харьковского государственного политехнического университета: Новые решения в современных технологиях. – 2000. – Вып. 83. – С. 4-7.

18. Годлевский М.Д., Воловицков В.Ю. СППР управления развитием корпоративной информационно-вычислительной системы при нечеткой исходной информации // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 2/2 (26). – С. 3-6.

Поступила в редколлегию 11.07.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Е.В. Бодянский, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДУ НАПРАВЛЕННОГО ПЕРЕБОРУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТОПОЛОГІЇ СИСТЕМ З РАДІАЛЬНО-ВУЗЛОВИМИ СТРУКТУРАМИ

В.В. Бескоровайний, Є.В. Соболева

Запропонована евристична модифікація комбінаторного методу направленного перебору локальних екстремумів функції мети для розв'язання задачі структурно-топологічної оптимізації тривірневих централізованих територіально розподілених систем. Наведені результати експериментального дослідження точності та складності запропонованої модифікації методу.

Ключеві слова: територіально розподілена система, синтез, топологія, оптимізація, модель, метод, алгоритм.

MODIFICATIONS OF DIRECT RECALCULATION METHOD OF TOPOLOGY OPTIMIZATION FOR SYSTEMS WITH RADIAL-NODE STRUCTURES

V.V. Beskorovainyi, E.V. Soboleva

Heuristic modifications of combinatorial method directed recalculation local extremums to functions purposes for deciding a problem structured-topological optimization radial-node systems synthesis is considered. Analytical estimations of their difficulty and results of their experimental accuracy research are brought.

Keywords: territorial distributed system, synthesis, structure, topology, optimization, model, method, algorithm.