

УДК 519.688:004.896

В.В. Бескорвайный, Е.В. Соболева

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

ЭВРИСТИЧЕСКАЯ ПРОЦЕДУРА ДЛЯ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ТОПОЛОГИИ СИСТЕМ С РАДИАЛЬНО-УЗЛОВЫМИ СТРУКТУРАМИ

Предлагается эвристическая процедура для модификации точных и приближенных методов решения задачи структурно-топологической оптимизации трехуровневых централизованных территориально распределенных систем. Приведены результаты экспериментального исследования точности и сложности модификаций метода направленного перебора локальных экстремумов функции цели с использованием для размещения узлов комбинаторной процедуры и процедуры покоординатной оптимизации.

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

Введение

Постановка проблемы. Характерной чертой многих из проектируемых, создаваемых и эксплуатируемых в настоящее время систем материально-технического снабжения, мониторинга, связи, управления, транспорта, сервиса является их значительная территориальная рассредоточенность [1]. Одной из важнейших задач, решаемых при проектировании, планировании развития или реинжиниринге территориально распределенных систем (ТРС), является задача их структурно-топологической оптимизации [2]. Она состоит в доопределении варианта построения ТРС (при заданных технологии функционирования, параметрах элементов и связей) количеством узлов (подсистем), связями между ними и их территориальным размещением (топологией).

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 [3 – 5].

Анализ литературы. Проведенный анализ задач структурно-топологической оптимизации ТРС в различных постановках показал, что большинство из них относится к классу комбинаторных. Методы их решения разделяются на точные (комбинаторные) и приближенные (включая эвристические) [6].

Комбинаторные методы предполагают полный или направленный перебор вариантов топологических структур. 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) [7]. С учетом современного развития средств вычислительной техники это ограничивает область

их применения системами с относительно небольшим количеством однотипных элементов (в зависимости от вида задачи до $n = 50 \div 60$).

Среди приближенных методов, используемых при решении задач большой размерности, широкое применение находят методы эволюционного синтеза, реализуемые с помощью генетических алгоритмов [8] и методы, использующие схемы покоординатной оптимизации [1, 7]. 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 критерию затрат.

Для ТРС с большим количеством элементов используются три основных стратегии сокращения времени решения задач их структурно-топологической оптимизации:

– вычисление оценок оптимального количества узловых элементов [1, 9, 10];

– разбиение множества элементов на подмножества и независимое решение подзадач малой размерности [11];

– выделение подмножества элементов, на базе которых целесообразно создавать узлы [6].

В виду резкого возрастания количества возможных вариантов с увеличением количества размещаемых узлов, вычисление оценок оптимального количества узловых элементов приводит к относительно незначительному сокращению времени решения задачи [1, 10]. Временная сложность задачи разбиения множества элементов на подмножества имеет тот же порядок, что и исходная задача [12]. С учетом этого наиболее эффективной считается третья стратегия, которая реализуется с помощью эвристических процедур: анализа матрицы «ближайших соседей» элементов (БС) [9]; анализа минимального стягивающего дерева (МСД) [13]; анализа стягивающего дерева, связывающего элементы с центром (СДЦ) [13].

В процедуре анализа матрицы «ближайших соседей» для каждого элемента определяется k ближайших к нему элементов (матрица размерности $(k+1) \times n_E$), подсчитывается число встречаемости каждого элемента, вычисляется число $G = 1 + \frac{1}{n_E} \sum_i z_i$, где z_i – количество элементов, встречающихся i раз. Потенциальными местами размещения узлов являются элементы, встречающиеся $i \geq G$ раз.

В процедуре анализа МСД выделяются его высшие вершины с последующим их исключением из списка потенциальных мест размещения узлов.

В процедуре анализа СДЦ, исключаются высшие вершины дерева, построенного следующим образом [14]. Каждая ветвь начинается с самого удаленного от центра элемента, при чем каждый элемент присоединяется только к такому ближайшему элементу, который находится ближе него к центру. После достижения центра, если не все элементы включены в структуру, строится новая ветвь.

Для метода на основе схемы покоординатной оптимизации предложены стратегии динамического формирования мест потенциального размещения узлов [1]: поиск нового места размещения для текущего узла осуществляется на множестве элементов, находящихся в его окрестности, заданной соотношением относительно максимального расстояния в структуре (поиск в пределах области ограниченного фиксированного размера – ОФР); поиск нового места размещения для текущего узла осуществляется на множестве присоединенных к нему элементов («свои элементы» – СЭ).

Выбор решений при проектировании ТРС и управлении проектами их реинжиниринга осуществляется в условиях различной степени определенности исходных данных, различных временных и ресурсных ограничений. Это требует разработки множества моделей и методов для решения задач структурно-топологической оптимизации ТРС, различающихся по показателям точности и сложности, имеющих более низкую временную сложность, чем комбинаторные методы или большую точность, чем известные приближенные методы.

Цель статьи – модификация в направлении снижения временной сложности методов решения задачи структурно-топологического синтеза трехуровневых ТРС с помощью эвристической процедуры выделения мест рационального размещения ее узлов.

Основная часть

Постановка и математическая модель задачи. Задача структурно-топологического синтеза ТРС с радиально-узловой структурой рассматрива-

ется в следующей постановке [6, 7]. Заданы: множество рассредоточенных по территории элементов системы $EI = \{e_i\}$, $i = \overline{1, n_E}$ 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 $EI_j = \{e_i\}$, $j = \overline{1, n_U^0}$. 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:

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

где C_C – стоимость центра; n_E – количество элемен-

тов, 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. $\sum_{i=1}^{n_E} r_{ij} = 1$ 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 $j = \overline{1, n_E}$, 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. $1 \leq \sum_{i=1}^{n_E} r_{ii} \leq n_E$.

Предлагаемая процедура для модификации методов структурно-топологической оптимизации предполагает определение пар взаимно альтернативных мест размещения узлов и исключении из перебора структур, предполагающих размещение двух узлов в местах, принадлежащих одной из таких пар (стратегия «поиск пар альтернатив» – ПА) [6]. Анализ многочисленных решений задач структурно-топологического синтеза ТРС с радиально-узловыми структурами 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 $el_{j^0} \in El_j$,

$$i^0 = \arg \min_i c_{ji}, \forall j = \overline{1, n_U^0}.$$

Исходя из этого сделано предположение: на базе двух взаимно ближайших элементов одновременно не могут создаваться узлы одинакового уровня иерархии. Для радиально-узловой структуры: если один элемент из такой пары 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 взаимно

альтернативными местами размещения 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 проце-

дуру решения задачи структурно-топологической оптимизации одним из известных методов 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 . Потеря точности при применении предложенной процедуры зависит от особенностей исходных данных задачи [6] и базового метода.

Эта процедура может быть использована для модификации большинства известных методов решения задачи структурно-топологической оптимизации ТРС с радиально-узловыми структурами. К числу наиболее распространенных среди них относятся методы направленного перебора с использованием для размещения узлов комбинаторных процедур и процедур на основе схемы покоординатной оптимизации [1, 7].

Для сравнительной оценки точности и временной сложности модификации методов структурно-топологической оптимизации ТРС с использованием описанных выше процедур был проведен комплекс экспериментов.

При этом координаты мест размещения элементов ТРС формировались с помощью генератора случайных чисел с равномерным распределением, а решение задачи структурно-топологической оптимизации осуществлялось всеми исследуемыми модификациями методов при одних и тех же исходных данных. В качестве показателей эффективности использовались: среднее время решения задачи (процессор Intel Q 6600, тактовая частота 1,88 ГГц) t ; максимальная и средняя относительные погрешности $(\delta C = |C^0 - \tilde{C}^0| / C^0)$, где C^0 и \tilde{C}^0 – значения стоимости оптимизированной ТРС, полученные с

помощью базового и модифицированного методов).

Оценка эффективности модификаций метода направленного перебора. В качестве базового метода был взят метод направленного перебора с использованием для размещения узлов комбинаторной процедуры (БНП) [7]. В качестве сравниваемых с ним были взяты четыре его модификации, в которых процедуры сокращения области поиска решения предполагают: анализ матрицы «ближайших соседей» (БС) с параметром $k = 3$; анализ минимального стягивающего дерева (МСД); анализ минимального дерева, стягивающего элементы к центру (СДЦ); поиск пар альтернатив (ПА). Была проведена серия экспериментов: для $n_E = 15, 20$ по 100 тыс., для $n_E = 25$ по 10 тыс., для $n_E = 30$ по 1 тыс. Результаты экспериментов для модификаций метода направленного перебора с помощью указанных процедур приведены в табл. 1 – 3.

Таблица 1

Среднее время решения задачи для модификаций метода БНП t , мс

n_E	БНП	БС	МСД	СДЦ	ПА
15	1,72	0,02	0,29	0,31	1,16
20	34,81	0,09	4,09	4,33	20,42
25	589,17	0,42	50,50	53,48	312,60
30	8280,92	1,72	555,32	578,42	4141,35

Таблица 2

Средняя погрешность решения для модификаций метода БНП δC , %

n_E	БС	МСД	СДЦ	ПА
15	10,12	0,24	0,138	0,00354
20	8,61	0,22	0,141	0,00188
25	7,39	0,19	0,144	0,00197
30	6,27	0,16	0,143	0,00028

Таблица 3

Максимальная погрешность решения для модификаций метода БНП $\max \delta C$, %

n_E	БС	МСД	СДЦ	ПА
15	117,92	9,82	8,97	3,69
20	108,21	7,69	8,77	2,81
25	67,14	4,25	5,19	1,73
30	53,24	2,50	3,19	0,25

Анализ результатов показывает, что все модификации метода направленного перебора с использованием для размещения узлов комбинаторной процедуры являются недоминируемыми по показателям времени решения и точности, а модификация на основе предложенной процедуры ПА позволяет получать решения с наивысшей точностью. При этом все модификации метода БНП, несмотря на

существенное сокращение времени решения задачи, имеют неполиномиальную временную сложность.

Метод на основе покоординатной оптимизации. Идея метода направленного перебора, реализующего для размещения узлов схему покоординатной оптимизации, заключается в следующем [1, 7].

Определить начальное значение количества узлов $n_U = n'_U$, необходимых для обслуживания всего множества элементов (в частном случае – $n'_U = 1$), и сгенерировать начальный вариант их размещения. Поочередно для каждого из узлов n_U изменять место его размещения (при фиксированном размещении $n_U - 1$ других) и определять наилучшее распределение элементов по критерию $\min_i c_{ij}$ (где c_{ij} – стоимость связи между элементом j и узлом i) до тех пор, пока общее решение по минимуму стоимости $C(n_U)$ улучшается. Определить неулучшаемый вариант размещения узлов и распределение множества элементов по узлам $E|_k = \{e|_i\}$, $k = \overline{1, n_U}$. Определить стоимость полученного варианта $C(n_U)$.

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

Оценка эффективности модификаций метода покоординатной оптимизации. В ходе исследования в качестве эталона была выбрана базовая схема метода покоординатной оптимизации (БПО) [6]. Она сравнивалась с шестью модификациями метода, в которых процедуры сокращения области поиска решения реализуют: анализ матрицы «ближайших соседей» (БС) с параметром $k = 3$; анализ минимального стягивающего дерева (МСД); анализ минимального дерева, стягивающего элементы к центру (СДЦ); поиск в пределах области фиксированного размера (ОФР), радиус которой равен 0,38 относительно максимального расстояния между элементами; поиск среди подключенных элементов (СЭ); поиск пар альтернатив (ПА).

Были проведены серии экспериментов: для $n_E = 20 \div 60$ – по 100 тыс.; для $n_E = 70 \div 100$ – по 10 тыс. Результаты экспериментов приведены в табл. 4 – 6.

Результаты экспериментов показывают, что все модификации метода направленного перебора с использованием для размещения узлов схемы покоординатной оптимизации, как и для метода БНП, также являются недоминируемыми, а модификация на основе предложенной процедуры ПА позволяет получать решения с наибольшей точностью.

Таблица 4
Время решения задачи для модификаций метода БПО t , мс

n_E	БПО	БС	МСД	СДЦ	ОФР	СЭ	ПА
20	0,4	0,1	0,3	0,3	0,1	0,3	0,4
30	1,9	0,3	1,5	1,2	0,6	1,2	1,7
40	5,4	1,0	4,2	3,7	1,9	3,2	4,9
50	12,6	2,2	9,8	8,8	4,6	7,0	11,4
60	25,4	4,8	20,0	18,0	9,6	13,6	23,1
70	47,2	8,9	37,0	33,7	18,0	24,1	43,3
80	80,7	15,7	62,5	57,8	31,3	40,0	74,3
90	127,0	25,6	98,4	92,4	50,4	61,4	117,3
100	189,4	39,1	146,4	137,8	75,7	89,7	176,1

Таблица 5
Средняя погрешность решения для модификаций метода БПО δC , %

n_E	БС	МСД	СДЦ	ОФР	СЭ	ПА
20	8,44	0,17	0,08	6,53	0,18	0,00427
30	6,32	0,13	0,09	4,68	0,20	0,00253
40	4,93	0,12	0,10	3,70	0,21	0,00182
50	4,36	0,11	0,11	3,11	0,23	0,00152
60	3,45	0,09	0,11	2,72	0,22	0,00135
70	2,98	0,09	0,10	2,48	0,23	0,00053
80	2,73	0,09	0,12	2,24	0,23	0,00087
90	2,48	0,07	0,10	2,09	0,23	0,00089
100	2,27	0,08	0,12	2,01	0,22	0,00070

Таблица 6
Максимальная погрешность решения для модификаций метода БПО $\max \delta C$, %

n_E	БС	МСД	СДЦ	ОФР	СЭ	ПА
20	107,64	9,69	9,14	220,37	9,59	6,87
30	79,44	7,89	8,06	200,37	8,29	4,27
40	54,72	6,41	8,25	113,53	8,18	3,40
50	37,19	6,86	6,51	77,85	7,28	3,03
60	34,02	5,90	5,79	77,90	7,02	3,23
70	21,32	4,48	5,05	37,43	4,58	1,51
80	17,33	4,51	3,53	37,12	5,07	1,92
90	18,37	3,61	3,69	38,12	4,56	1,84
100	15,29	3,88	4,25	33,19	4,07	1,02

Результаты аппроксимации временной сложности модификаций метода БПО полиномом второй степени с максимальной погрешностью, значение которой указано в скобках (рис. 1):

БПО (0,27):

$$O(n_E^2) = 0,0433 n_E^2 - 3,0058 n_E + 49,9004 ;$$

БС (0,16):

$$O(n_E^2) = 0,0093 n_E^2 - 0,6418 n_E + 11,376 ;$$

МСД (0,18):

$$O(n_E^2) = 0,0333 n_E^2 - 2,2988 n_E + 38,0296 ;$$

СДЦ (0,39):

$$O(n_E^2) = 0,0319 n_E^2 - 2,232 n_E + 37,1544 ;$$

ОФР (0,30):

$$O(n_E^2) = 0,0178 n_E^2 - 1,2592 n_E + 21,1019 ;$$

СЭ (0,16):

$$O(n_E^2) = 0,0196 n_E^2 - 1,3014 n_E + 21,256 ;$$

ПА (0,16):

$$O(n_E^2) = 0,0406 n_E^2 - 2,8343 n_E + 47,2086 .$$

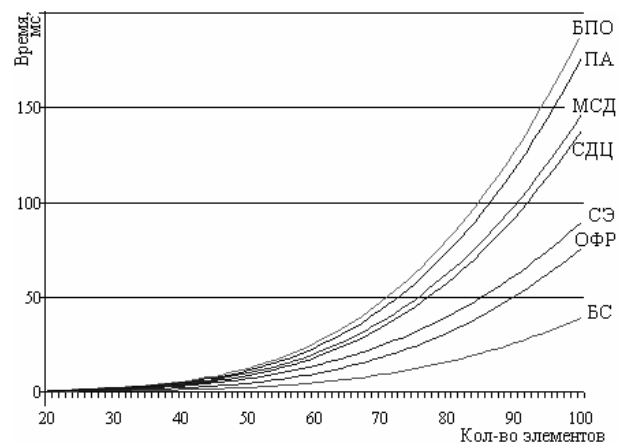


Рис. 1. Аппроксимация временной сложности модификаций метода БПО

Выводы

Предложена эвристическая процедура для модификации методов решения задачи структурно-топологической оптимизации ТРС с радиально-узловыми структурами.

Результаты экспериментальных исследований показали достаточно высокую эффективность предложенной процедуры для модификации известных методов направленного перебора.

Время решения задач для предложенной модификации метода направленного перебора с использованием для размещения узлов комбинаторной процедуры по отношению к базовому методу снизилось примерно на треть, а погрешность в среднем составила менее 0,002%.

Время решения задач для предложенной модификации метода направленного перебора с использованием для размещения узлов схемы по координатной оптимизации по отношению к базовому методу снизилось на 6 – 7%, а погрешность в среднем составила менее 1%.

Предложенная процедура для модификации методов направленного перебора позволяет получать решения с наибольшей точностью.

Все рассмотренные модификации метода направленного перебора являются недоминируемыми и могут быть включены в банки методов систем автоматизированного проектирования или планирования развития территориально распределенных объектов.

Применение предложенной эвристики для модификации известных точных и приближенных методов позволит решать с их помощью задачи структурно-топологического синтеза большей размерности, повысить точность решений 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 методов 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 для сокращения количества анализируемых вариантов в других методах и алгоритмах структурно-топологической оптимизации ТРС.

Список литературы

1. Петров Э.Г. Территориально распределенные системы обслуживания / Э.Г. Петров, В.П. Пискалова, В.В. Бескоровайный. – К.: Техника, 1992. – 208 с.
2. Бескоровайный В.В. Системологический анализ проблемы структурного синтеза территориально распределенных систем / В.В. Бескоровайный // АСУ и приборы автоматики. – 2002. – Вып. 120. – С. 29-37.
3. 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. – Вып. 68. – С. 62-64.
4. Годлевский М.Д. Модель статической задачи структурного синтеза корпоративной информационно-вычислительной системы / М.Д. Годлевский, В.Ю. Воловщиков // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 2/2 (20). – С. 110-113.
5. Зайченко Е.Ю. Сети АТМ: моделирование, анализ и оптимизация / Е.Ю. Зайченко. – К.: ВІПОЛ, 2003. – 216 с.
6. Бескоровайный В.В. Модификация метода направленного перебора для оптимизации топологии систем с радиально-узловыми структурами / В.В. Бескоровайный, Е.В. Соболева // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2008. – Вып. 5 (72). – С. 25-30.
7. Бескоровайный В.В. Модификация метода направленного перебора для синтеза топологии систем с радиально-узловыми структурами / В.В. Бескоровайный // АСУ и приборы автоматики. – 2003. – Вып. 123. – С. 110-116.
8. Годлевский М.Д. СППР управления развитием корпоративной информационно-вычислительной системы при нечеткой исходной информации / М.Д. Годлевский, В.Ю. Воловщиков // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 2/2 (26). – С. 3-6.
9. Verfasst von L. Schade. Technick und Technologie des Fernmeldewessens. Optimierung von Telekommunikationsnetzen. Optimale Knoten / Verfasst von L. Schade. – Dresden: Zentralst. fuer HSFS, 1991. – 64 S.
10. Бескоровайный В.В. Метод предварительной оценки стоимости территориально распределенных объектов / В.В. Бескоровайный // Радиоэлектроника и информатика. – 2003. – № 2. – С. 104-107.
11. Зайченко Ю.П. Структурная оптимизация сетей ЭВМ / Ю.П. Зайченко, Ю.В. Гонга. – К.: Техника, 1986. – 168 с.
12. Бескоровайный В.В. Оптимизация количества и топологии элементов при структурном синтезе территориально распределенных систем / В.В. Бескоровайный // Радиоэлектроника и информатика. – 2003. – № 1 – С. 101-104.
13. Бескоровайный В.В. Алгоритмы оптимизации топологии ИВС на множестве радиально-узловых структур / В.В. Бескоровайный, З.А. Имангулова // Радиоэлектроника и информатика. – 2000. – № 2. – С. 100-104.
14. Иванов П.М. Алгебраическое моделирование сложных систем / П.М. Иванов. – М.: Наука, Физматлит, 1996. – 272 с.

Поступила в редколлегию 20.11.2008

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

ЕВРИСТИЧНА ПРОЦЕДУРА ДЛЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ТОПОЛОГІЇ СИСТЕМ З РАДІАЛЬНО-ВУЗЛОВИМИ СТРУКТУРАМИ

В.В. Бескоровайний, О.В. Соболева

Запропоновано евристичну процедуру для модифікації методів розв'язання задачі структурно-топологічної оптимізації тривіневих централізованих територіально розподілених систем. Наведено результати експериментального дослідження точності та складності модифікацій методу спрямованого перебору на основі комбінаторної процедури та покоординатної оптимізації.

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

HEURISTIC PROCEDURE FOR METHODS FOR SYSTEMS WITH RADIAL-NODE STRUCTURES TOPOLOGY OPTIMIZATION

V.V. Beskorovainyi, E.V. Soboleva

Heuristic procedure to modify methods for deciding a problem structurally-topological optimization of radial-node systems synthesis is considered. Results of experimental accuracy and difficulty research of realised by combinatorial procedure directed recalculation method's and based on Gauss-Seidel method's modifications are brought.

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