

управления проектом. В работе [4] определен алгоритм применения этой модели для синтеза профессиональных компетенций. Поскольку основными ресурсом управления высокотехнологичным проектом является среда формирования новых профессиональных компетенций x и себестоимость выполнения программы C , и поскольку их оптимумы могут достигаться при различных ресурсах, эти параметры приняты в качестве критериев оптимизации: $I_1=x$, $I_2=C$, причем I_1 необходимо максимизировать, а I_2 – минимизировать. Множество Парето построено в форме поверхности, вид которой зависит от числа новых профессиональных компетенций, себестоимости и величины капиталовложений. Этому множеству принадлежат все допустимые эффективные решения многокритериальной задачи оптимизации образовательного ресурса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Арчибальд Р.* Управление высокотехнологичными программами и проектами: Пер. с англ. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ДМК Пресс: Компания АйТи, 2004. – 472 с.
2. *Сомов А.С. и др.* Эффективное управление проектом с заданными свойствами // Известия вузов. Сев.-кавк. регион. Технические науки. – 2012. – № 3. – С. 113-115.
3. *Звонников В.И., Чельщикова М.Б.* Контроль качества обучения при аттестации: компетентностный подход: Учеб. пособие. – М.: Университетская книга: Логос, 2009. – 272 с.
4. *Граецкая О.В., Корохова Е.В., Сомов А.С., Петракова А.В.* Модели принятия решений адаптации профессиональных компетенций к управлению высокотехнологичным проектом // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 5 (142). – С. 236-241.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.В. Боженюк.

Петраков Владимир Александрович – Южный федеральный университет; e-mail: kaf_sau@mail.ru; 344090, г. Ростов-на-Дону, Мильчакова, 10, оф. 505; тел.: 88632696991; кафедра системного анализа и управления; д.т.н.; профессор; зав. кафедрой.

Petrakov Vladimir Alexandrovich – Southern Federal University; e-mail: kaf_sau@mail.ru; 10, Milchakova street, of. 505, Rostov-on-Don, 344090, Russia; phone: +78632696991; the department of system analysis and control; dr. of eng. sc.; professor; head the department.

УДК 621.05.1

Н.С. Петров

МОДЕЛЬ КЛАСТЕРА БЕСПРОВОДНОЙ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДАТЧИКОВ

Рассматривается модель кластера беспроводной распределённой информационной микрокомпьютерной системы сбора и обработки информации датчиков (мониторинга), основанная на принципах блочной декомпозиции и иерархического упорядочивания. Определена целевая задача функционирования кластера, связывающая производительность и надёжность. Рассматриваются две основные структуры для организации кластерной системы – на основе древовидной и звёздной топологий. Оцениваются аппаратные затраты и количество возможных сетевых соединений для этих структур. Описываются особенности беспроводной реализации сетевых соединений для каждой структуры по двум схемам сбора данных – последовательной и параллельной. Выявлены структурные отличия беспроводной реализации от проводной по двум схемам сбора и зависимость между организацией связи и аппаратной сложностью обрабатывающих модулей. Показано, что применение беспроводных каналов связи позволяет повысить живучесть кластера за счёт изменения в реальном времени направления потоков данных по альтернативным маршрутам в разветвлённых структурах. Приведены рекомендации по выбору структуры кластера.

Распределённая система; кластер; модель; топология; беспроводная связь.

N.S. Petrov

**MODEL OF THE CLUSTER OF WIRELESS DISTRIBUTED SYSTEM
OF COLLECTION AND PROCESSING OF INFORMATION OF SENSORS**

In article the model of a cluster of the wireless distributed information microcomputer system of collection and information processing of the sensors (monitoring), based on the principles of block decomposition and hierarchical ordering is described. The target task of functioning of the cluster, the connecting productivity and reliability is defined. Two main structures for the organization of cluster system – on the basis of treelike and star topology are considered. The hardware expenses and number of possible network connections for these structures are evaluated. Features of wireless implementation of network connections for each structure according to two diagrams of data collection – serial and parallel are described. Structural differences of wireless implementation from wire according to two diagrams of collection and dependence between the organization of communication and the hardware complexity of processing modules are revealed. It is shown that application of wireless links of communication allows to increase survivability of a cluster due to change in real time of the direction of data streams on alternative routes in tree-structured structures. Recommendations about a choice of structure of a cluster are provided.

Distributed system; cluster; model; topology; wireless communication.

Модель распределённой информационной микрокомпьютерной системы (РИМКС) мониторинга динамических технических объектов можно представить в виде четырёхъярусной процессной схемы с декомпозицией целевой задачи сбора и обработки сигналов датчиков (СОИД) на подзадачи [1]. Каждая задача из набора $\langle Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 \rangle$ или композиция задач решается информационными микропроцессорными модулями (ИММ). В случае достаточно сложного объекта (как с точки зрения размеров, так и по количеству обрабатываемой информации) РИМКС предлагается разделять на локальные подсистемы – кластеры [2].

Кластер, как элемент РИМКС мониторинга, представляет собой иерархическую однонаправленную потоковую систему, работающую в реальном времени, поэтому для удобного анализа с точки зрения сетевых связей, его модель можно представить в виде ориентированного графа $C=(M, K)$, где M – множество вершин, т.е. множество вычислительных устройств или ИММ, а K – множество рёбер графа или сетевых связей. Множество K состоит из упорядоченных пар вершин $\{m_{lj}, m_{(l+1)j}\}$, где $m_{lj}, m_{(l+1)j} \in K$, $m_{lj} \neq m_{(l+1)j}$, $l=[1..L]$ – номер яруса, $j=[1..J_L]$ – номер вершины на ярусе. На рис. 1 представлена четырёхъярусная (без учёта уровня датчиков) структура кластера с древовидной топологией соединения вершин (модулей).

Каждому ребру $\{m_{lj}, m_{(l+1)j}\} \in K$ можно поставить в соответствие число $h(m_{lj}, m_{(l+1)j}) \geq 0$, называемое пропускной способностью ребра. В графе выделим 2 типа конечных вершин: набор истоков $\{d_i\}$ – датчики, $i=[1..D]$; набор стоков $\{q_j\}$ – конечные приёмники информации – абоненты; $j=[1..Q]$. То есть каждая промежуточная вершина графа лежит на каком-то пути $d \rightarrow m_{lj} \rightarrow q$ из истока в сток. Кроме того? каждое ребро характеризуется потоком $f(m_{lj}, m_{(l+1)j})$, который для однонаправленной системы обладает свойством [3]:

$$\begin{cases} f(m_{lj}, m_{(l+1)j}) \leq h(m_{lj}, m_{(l+1)j}) \\ f(m_{lj}, m_{(l+1)j}) \geq 0 \end{cases},$$

т.е. поток не превышает пропускную способность каждого ребра и он однонаправлен.

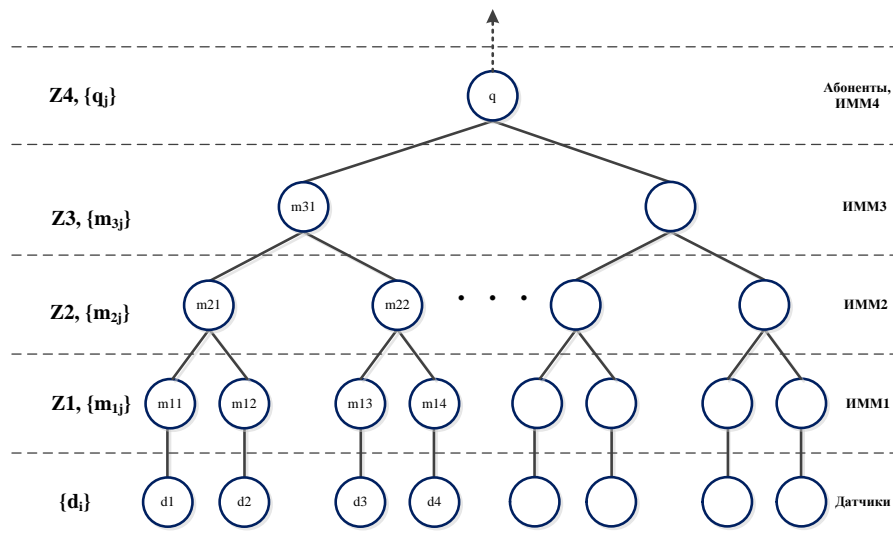


Рис. 1. Модель кластера в виде четырёхъярусной структуры с древовидной топологией

Величину потока можно идентифицировать как $V(m_j, m_{(l+1)j})$ – скорость передачи данных. Дополнительные параметры: $N(m_j, m_{(l+1)j})$ – размерность передаваемых сообщений (кадров); $t(m_j, m_{(l+1)j})$ – время доставки сообщения (обратно пропорционально V); $p_{kj}(m_j, m_{(l+1)j})$ – вероятность отказа сетевого канала; $p_{fr}(m_j, m_{(l+1)j})$ – вероятность потери сообщения при передаче; $w(m_j, m_{(l+1)j})$ – тип канала: проводной ($w=1$) или беспроводной ($w=0$).

Каждая вершина графа осуществляет преобразование входящего потока в выходящий по определённому правилу (аналогично решаемым задачам из набора $\langle Z_1, Z_2, Z_3 \rangle$):

$$m_{(l+1)j} : f(m_j, m_{(l+1)j}) \rightarrow f(m_{(l+1)j}, m_{(l+2)j}).$$

Суммарное время сбора данных с D датчиков, их обработки и доставки до Q абонентов за один цикл обозначим как T_c .

Таким образом, целевую задачу функционирования кластера можно определить:

$$\begin{cases} \sum_{d=1}^D f(m_d, m_1) \rightarrow \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^{J_l} f(m_j, m_{(l+1)j}) \rightarrow \sum_{q=1}^Q f(m_L, m_q), \\ T_c(h, f) \rightarrow \min, \\ \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^{J_l} p_{kj} \rightarrow \min, \end{cases}$$

т.е. преобразование входного потока данных от датчиков в обработанный выходной, минимизация времени сбора и обработки данных и минимизация отказов каналов связи.

Очевидно, что величина $\sum_{l=1}^L f(m_{lj}, m_{(l+1)j})$ определяется исходя не только из вышеописанных параметров, но также и структурой кластера или его топологией, так как реализация системы с меньшим количеством модулей уменьшает количество сетевых связей. Оценки производительности различных структур приводятся в [1].

Основные системные требования, предъявляемые к кластеру РИМКС следующие[2]:

- ◆ сопряжение на физическом и информационном уровне с различными типами датчиков;
- ◆ прецизионные измерения и интеллектуальные оценки физических переменных;
- ◆ работа в темпе жёсткого реального времени;
- ◆ низкая динамическая погрешность.
- ◆ повышенная надёжность.

При разделении системы на кластеры следует учесть 2 ограничения.

1. По типу используемых датчиков. Желательно разделять кластеры или отдельные ветви сбора данных внутри них по типу датчиков – аналоговые, цифровые, дискретные и т.п.
2. По количеству сетевых связей. При использовании беспроводных каналов связи существуют ограничения на их количество, так как возможны перекрытия каналов, что влечёт к потерям данных.

Рассмотрим теперь влияние введения беспроводных каналов связи в наиболее важные для практической реализации структуры – древовидная и звёздная. В [4] было показано, что использование беспроводной связи существенно не влияет на производительность системы.

Первая структура – на основе древовидной схемы СОИД с групповой обработкой сигналов (рис. 1). Такая структура оправдана, когда имеется большое количество датчиков ($D > 64$), существенно превышающее количество входов у многовходовых ИММ.

Количество сетевых соединений, связывающих датчики и модули, определяется степенью группировки каналов на каждом из ярусов. При группировке на 1-м ярусе по n каналов, образующих $M_1 = D/n$ модулей 1-го яруса, на втором по n_1 каналов, образующих $M_2 = D/(n \cdot n_1)$ модулей 2-го яруса и на третьем – n_2 каналов, образующих $M_3 = D/(n \cdot n_1 \cdot n_2)$ модулей 3-го яруса, суммарное количество модулей M и сетевых каналов K_{max} определяется следующим образом:

$$M = \sum_{l=1}^3 M_l = \frac{D}{n} + \frac{D}{n \cdot n_1} + \frac{D}{n \cdot n_1 \cdot n_2} = \frac{D}{n} \left(1 + \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_1 \cdot n_2} \right), \quad (1)$$

$$K_{max} = \sum_{l=1}^3 K_l = M_1 + M_2 + M_3 = M. \quad (2)$$

При реализации схемы на основе только беспроводных связей возможны 2 варианта: с параллельной организацией приёма и с последовательной. Особенности каждой организации описаны в [4].

При параллельной реализации должно выполняться неравенство:

$$K_{max} < N_{max},$$

где N_{max} – максимальное количество беспроводных каналов и зависит от технологии связи. Например, при использовании стандарта IEEE 802.11n (Wi-Fi), количество параллельных беспроводных каналов может определяться исходя из табл. 1. Так для диапазона частот 5–6 ГГц $N_{max} = 19$ при ширине канала 40 МГц (при этом скорость передачи максимально возможная) и $N_{max} = 38$ при ширине в 20 МГц.

Таблица 1

Параметры стандарта IEEE 802.11n

	Диапазон 2,4 ГГц		Диапазон 5-6 ГГц	
	Кол-во каналов	Скорость передачи, Мбит/с	Кол-во каналов	Скорость передачи, Мбит/с
Ширина канала 20 МГц, непересекающихся	3	<11	38	<54
Ширина канала 40 МГц, непересекающихся	–	–	19	<100
Общее число информационных подканалов	13		96	

При использовании только последовательной организации сбора, количество беспроводных каналов связи может быть уменьшено до величины K_{min}

$$K_{min} = K_{max} - n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 + 1 = M_2 + M_3 + 1, \quad (3)$$

что снижает затраты на сетевое оборудование, но увеличивает время сбора по сравнению с параллельной организацией и эквивалентно проводной организации при равных скоростях обмена.

Рассмотрим пример системы, которая имеет $D=256$ аналоговых датчиков. Допустим, что модули 1-го яруса будут иметь $n=16$ входов, 2-го яруса $n_1=8$ входов, а третьего $n_2=2$. Тогда, согласно (1)–(3), получим, что система, построенная по древовидной схеме, будет иметь всего $M=42$ модуля различной сложности, $K_{max}=42$ параллельных беспроводных канала (или проводных) и $K_{min}=11$ беспроводных каналов с последовательной организацией сбора. Так как $K_{max} > N_{max}$ для 802.11n, например, то полностью параллельный сбор на всех ярусах организовать не удастся. Поэтому для повышения быстродействия можно комбинировать последовательную и параллельную организации сбора. Так на первом уровне, где объёмы передаваемых данных не так велики, можно использовать последовательный сбор, а на верхних уровнях – параллельный.

Кроме того, применение беспроводной связи с последовательных сбором данных по сравнению с проводным значительно уменьшает аппаратные затраты, так как отсутствует необходимость в использовании многоходовых коммутационных узлов в модулях (кроме модулей 1-го яруса, выполняющих сбор сигналов аналоговых датчиков) и кабельных линий связи; увеличивает мобильность устройств.

Вторым преимуществом организации беспроводных каналов является повышение живучести системы за счёт того, что при выходах из строя модулей второго или третьего ярусов, данные с нижних ярусов могут передаваться на работоспособные модули. Это понижает общую производительность системы, но позволяет сохранить работоспособность. Очевидно, что при выходе из строя модуля первого яруса или каналов сбора аналоговых сигналов (сопоставимо с неисправностью датчика), данные безвозвратно теряются.

На рис. 2 показан вид схемы при выходе из строя одного модуля 2-го яруса и одного модуля 3-го яруса.

Для того чтобы реализовывалась возможность изменения внутри- и межъярусных соединений, помимо наличия беспроводных каналов, модули системы должны иметь алгоритмы работы, адаптирующиеся к изменению организации сбора данных и увеличению объёмов обрабатываемой информации.

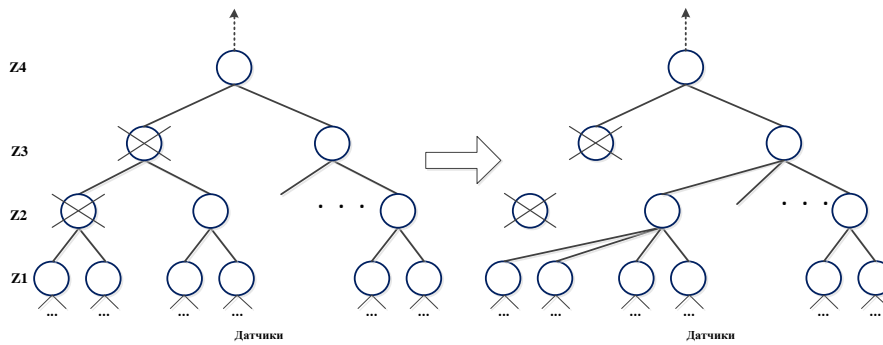


Рис. 2. Древоподобная структура при отказе модулей 2-го и 3-го ярусов

Вторая структура – с топологией «звезда» (параллельная схема) приведена на рис. 3. Когда число датчиков невелико ($D \leq 32$), эта схема перед остальными имеет преимущества по быстродействию и надёжности, так как процессы на первых 3-х ярусах для каждого датчика выполняются отдельно, а при выходе из строя одного модуля теряется всего один канал сбора данных (один датчик).

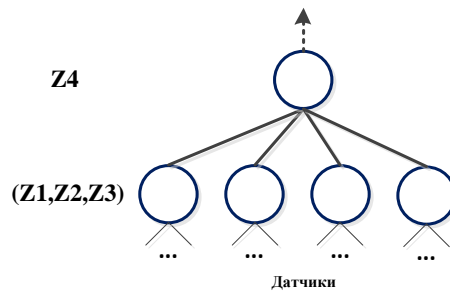


Рис. 3. Структура с топологией «звезда»

Очевидно, что количество модулей в схеме $M=D$, но при этом они в архитектурном плане проще, чем используемые в древоподобной схеме, так как имеют всего один канал сбора данных и один канал выдачи. Тип связи не влияет на надёжность (живучесть) такой системы, так как выход из строя приёмопередатчика аналогичен выходу из строя проводного коммутатора или обрыву кабеля.

Организация сетевого обмена между ярусом Z_3 или обобщённым (Z_1, Z_2, Z_3) и Z_4 отличается тем, что на ярус Z_4 одновременно поступают G пакетов. В случае топологии «звезда» $G=D/n$. Для приёма, обработки и дальнейшей передачи этих сообщений в состав кластера вводится интеллектуальный микроконтроллерный коммуникационный модуль (ИМКМ).

В данных конфигурациях ИМКМ может реализовывать следующие функции [5]:

- 1) сбор G сообщений, формирование интегрального сообщения, содержащего с первого по G сообщение, передача интегрального сообщения абоненту (уровень Z_4);
- 2) при использовании на 4-м ярусе нескольких модулей $ИММ_Q (Q > 1)$, решающих в совокупности задачу Z_4 , ИМКМ осуществляет сбор G сообщений, формирует из них Q различных сообщений, передаёт сообщения Q абонентам; структура такой системы представлена на рис. 4;
- 3) сбор G сообщений, формирование из компонентов этих сообщений Q сообщений абонентам, передача сформированных сообщений Q абонентам.

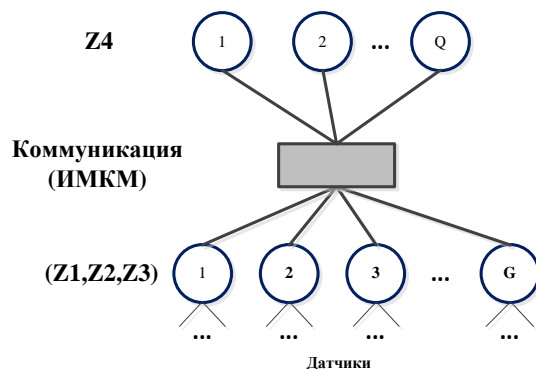


Рис. 4. Структура системы с распределённым 4-м ярусом и использованием ИМКМ

Применение параллельного сбора данных по беспроводным каналам в ИММ и коммуникационном модуле позволяет добиться максимально возможного быстродействия [5]. Но при этом возрастает аппаратная сложность ИММ и ИМКМ из-за наличия большого количества приёмопередатчиков. Оценки быстродействия приведены в [6].

Выводы. Таким образом, выбор той или иной структуры с реализацией каналов по беспроводной технологии зависит от количества используемых датчиков, ограничений на количество вычислительной аппаратуры, требований к надёжности работы отдельных компонентов и системы в целом, условий эксплуатации с точки зрения электромагнитной совместимости.

В общем, можно сделать вывод, что при сопоставимых скоростях передачи данных, применение беспроводных каналов связи не влияет на быстродействие системы, но может повысить её живучесть за счёт изменения в реальном времени направления потоков данных по альтернативным маршрутам в разветвлённых структурах, уменьшить затраты, связанные с прокладкой и эксплуатацией проводных линий связи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пьявченко О.Н. Структурные особенности организации сбора и обработки информации датчиков в распределённых информационных микрокомпьютерных системах реального времени // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 5 (130). – С. 12-20.
2. Петров Н.С. Архитектура кластерной системы сбора и обработки информации датчиков динамических объектов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 11 (148). – С. 225-231.
3. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ: Пер. с англ. / Под ред. А. Шеня. – М.: МЦНМО, 2002. – 960 с.
4. Петров Н.С. Особенности организации беспроводной связи в коммуникационном модуле распределённой информационной микрокомпьютерной системы // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 5 (142). – С. 14-19.
5. Пьявченко О.Н. Коммуникационные модули высокопроизводительных распределённых информационных микрокомпьютерных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 5 (142). – С. 9-14.
6. Пьявченко О.Н. Параллельно-последовательные схемы распределённых систем сбора и обработки информации датчиков // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 4 (153). – С. 8-14.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.М. Белевцев.

Петров Назар Сергеевич – Южный федеральный университет; e-mail: kafmps@tppark.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; кафедра микропроцессорных систем; аспирант.

Petrov Nazar Sergeevich – Southern Federal University; e-mail: kafmps@tppark.ru; 81, Petrovskayastreet, Taganrog, 347900, Russia; the department of microprocessor systems; post-graduate student.

УДК 681.327

Е.М. Герасименко

МЕТОД ПОТЕНЦИАЛОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАННОГО ПОТОКА МИНИМАЛЬНОЙ СТОИМОСТИ В НЕЧЕТКОМ ДИНАМИЧЕСКОМ ГРАФЕ*

Описывается метод нахождения потока минимальной стоимости в нечетком динамическом графе. Для вычисления потока минимальной стоимости будем применять алгоритм, основанный на введении потенциалов для каждой из вершин нечеткого графа. Данный алгоритм позволяет избежать необходимости оперирования отрицательными стоимостями, т.е. работает с так называемыми «приведенными стоимостями». Данная модификация приводит к увеличению быстродействия алгоритма. Значения потенциалов вычисляются согласно путям минимальной стоимости от начальной вершины к остальным вершинам графа. При этом нет необходимости просматривать все вершины графа, так как критерием окончания алгоритма является приписывание постоянной пометки конечной вершины. Использование потенциалов вершин ведет к необходимости оперирования «приведенными стоимостями», полученными на основе исходных стоимостей и вычисления потенциалов вершин. Описаны правила построения «развернутого во времени» графа, соответствующего исходному, а также правила построения нечеткой остаточной сети, оперирующей приведенными стоимостями. Учитывается возможность параметров графа меняться во времени.

Нечеткий динамический граф; поток минимальной стоимости; потенциалы вершин; развернутый во времени граф.

E.M. Gerasimenko

POTENTIALS METHOD FOR MINIMUM COST FLOW DEFINING IN FUZZY DYNAMIC GRAPH

This article describes a method for minimum cost flow finding in a fuzzy dynamic graph. Algorithm based on the potentials introduction for any arc of the fuzzy graph will be applied for minimum cost determining. Present algorithm allows escaping the necessity of operating with negative costs, as it deals with «reduced costs». This modification leads to improving of time complexity of the algorithm. Potentials are computed according to the paths of minimum cost from the initial node to other nodes of the graph. It is not necessary to check all nodes of the graph, as termination condition of the algorithm is assigning the permanent label to the final node. Using node potentials leads to necessity of operating with «reduced costs», receiving based on the initial meanings of the transmission costs and computing of the node potentials. The rules of the «time-expanded» graph construction corresponded to the initial and fuzzy residual network construction, which operates reduced costs are described. The fact that parameters of the graph can be changed in time is taken into account.

Fuzzy dynamic graph; minimum cost flow; node potentials; time-expanded graph.

* Работа поддержана РФФИ, проект № 11-01-00011а.