

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 654.9:615.478

ДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ

Р.Г. Киракосян

Национальный политехнический университет Армении

Разработан динамический метод эффективного распределения и перераспределения телекоммуникационных ресурсов медицинского центра для решения задач телемедицины с учетом приоритетности предлагаемых лечебных услуг. Предложенный метод включает в себя математическую модель, алгоритм и программный пакет и может быть использован в системах управления функционированием разнообразных медицинских центров, что позволяет осуществлять эффективное использование общих телекоммуникационных ресурсов телемедицины при возникновении новых телемедицинских услуг и изменении значимости рассматриваемых телемедицинских услуг. Данный метод может быть использован также для управления телекоммуникационными ресурсами в различных иерархических системах.

Ключевые слова: телемедицина, телекоммуникационные ресурсы, телекоммуникационные технологии, система управления, метод, математическая модель, алгоритм, программный пакет.

Введение. На основе современных телекоммуникационных (ТК) технологий для повышения эффективности и оперативности организации многочисленных и разнообразных медицинских лечебных услуг в индустриально развитых странах используются различные телемедицинские системы [1, 2]. В медицинских центрах, где используется телемедицина, как правило, разработана и внедрена телемедицинская иерархическая инфраструктура ТК технологий, которая является сложной информационно-телекоммуникационной системой (ИТКС). Телемедицинская ИТКС крупного медицинского центра представляет собой совокупность ТК сети и автоматизированной системы, где ее эффективное использование требует разработки, внедрения и эксплуатации унифицированной системы управления (СУ). Наряду с решением задач управления информационными и ТК технологиями такая СУ предназначена для организации динамического применения (распределения и перераспределения) аппаратно-программных ресурсов ТК технологий в зависимости от приоритетов лечебных услуг телемедицины данного медицинского центра.

Инфраструктура ТК технологий современных крупных медицинских центров довольно сложна, и, как правило, ТК ресурсы используются неэффективно. Это приводит к увеличению всевозможных затрат медицинского центра на ТК ресурсы, в том числе к большим необоснованным затратам на поддержку существующих ИТКС. Кроме того, систематически затрачиваются дополнительные финансовые средства на приобретение новых приложений для различных медицинских услуг, в том числе на новые лечебные услуги телемедицины.

Современные лечебные услуги телемедицины медицинских центров не удовлетворяются просто доступом к общим ТК ресурсам, когда всем пациентам и медицинским услугам предоставляются равные права, а требуют дифференцированного подхода при выделении общих ТК ресурсов необходимого объема и качества, а также индивидуального обслуживания с предоставлением разных прав доступа. Все современные лечебные услуги телемедицины имеют различную потребность в разнообразных ТК ресурсах, причем для повышения их эффективности, исходя из экономических соображений, для многих таких медицинских сервисов выделяются одни и те же ТК ресурсы [3-5]. Следует отметить, что все ТК ресурсы телемедицины медицинского центра ограничены, а при одновременном обращении к их общим ТК ресурсам могут возникнуть конфликты, для разрешения которых СУ данным ресурсом не всегда могут отдать предпочтение тому или другому пациенту или лечебной услуге по причине отсутствия информации об их приоритетности.

В ТК технологиях телемедицины практически нет универсальных СУ, которые бы позволяли включать все компоненты ТК технологий в единую автоматизированную систему, полностью контролировать и управлять ТК ресурсами телемедицины медицинского центра как единым целым и при этом организовать такое интегрированное использование данными ресурсами, которое бы адекватно и своевременно отвечало текущим динамически меняющимся объемам запросов потребителей (пациентов) на ту или иную медицинскую услугу. Поэтому разработка метода эффективного использования ТК ресурсов телемедицины при их ограниченности с учетом динамики изменения приоритетов на лечебные услуги является весьма актуальной.

С учетом сказанного целью работы является разработка динамического метода эффективного использования ТК ресурсов для повышения эффективности функционирования всех приложений и решения различных задач телемедицины в зависимости от приоритетности предлагаемых телемедицинских услуг.

Система использования ТК ресурсов телемедицины. Динамика изменения предлагаемых лечебных услуг телемедицины медицинского центра может быть обусловлена как трансформацией общих целей (приоритетов) медицинских

задач, так и внезапным отказом его ТК ресурсов, делающих невозможной информационно-технологическую поддержку отдельных телемедицинских услуг. В таких случаях происходит изменение значимости лечебных услуг телемедицины медицинского центра и, следовательно, приоритетов для поддерживающих их ТК технологий, что, в свою очередь, влечет за собой необходимость перераспределения ТК ресурсов телемедицины. Это можно осуществить использованием разработанной ИТКС. В свою очередь, такие изменения значимостей лечебных услуг телемедицины медицинского центра могут происходить динамично и носить стохастический характер (например, перерывы или отсутствие связи на стороне провайдера ТК услуг) или наоборот, быть предсказуемыми и планируемыми (например, при проведении медицинской интернет-конференции в медицинском центре, где ее организовали, может потребоваться для этих целей существенно расширить полосу пропускания канала доступа в глобальную сеть для поддержки телемедицинских задач видеоконференций за счет ограничения доступа для других лечебных услуг телемедицины и т.д.).

Структура эффективного использования ТК ресурсов телемедицины медицинского центра, способного оперативно реагировать на изменение значимости лечебных услуг, приведена на рисунке.

Эффективное использование ТК ресурсов телемедицины имеет цель обеспечить комплексную автоматизацию лечебных услуг для медицинских центров со сложной инфраструктурой ТК технологий. Для этого существует два иерархических уровня:

Первый уровень. Данный уровень управляет автоматизацией процессов деятельности медицинского центра в сфере телемедицины. На рисунке первый уровень выступает в виде следующих двух блоков:

- управление услугами телемедицины медицинского центра;
- определение значимости услуг телемедицины медицинского центра.

Второй уровень. Этот уровень управляет как разнообразными ТК технологиями, поддерживаемыми услугами телемедицины медицинского центра, так и работой компонентов инфраструктуры ТК технологий (сетями, серверами, распределенными приложениями и т.д.), а также осуществляет анализ состояния ТК ресурсов телемедицины с целью определения эффективности работы компонентов инфраструктуры ТК технологий.

На втором уровне представленный блок эффективного использования ТК ресурсов телемедицины медицинского центра (см. рис.) призван стать системообразующим началом создания единой интегрированной системы автоматизированного управления приложениями, непосредственно обеспечивающими лечебные услуги телемедицины и необходимыми для их

работы поддерживающими информационными и ТК технологиями. Данный блок, кроме того, что в динамике эффективно распределяет имеющиеся ТК ресурсы между всеми медицинскими лечебными услугами, он также осуществляет эффективное использование не только отдельных элементов, но и процессов, поддерживающих медицинские задачи телемедицины. Этот блок поддерживает показатели качества функционирования ТК ресурсов телемедицины медицинского центра на заданном уровне и при изменении внешних условий изменяет и перераспределяет доступ телемедицинских приложений и задач к общим ТК ресурсам.

Состояние единой интегрированной системы автоматизированного управления телемедициной медицинского центра оценивается применением мониторинга и анализа работы ее элементов и подсистем (ТК сетей, серверов, терминалов и т.д.), а также распределенных приложений и сервисов ТК технологий. Анализ включает получение информации о качестве услуг телемедицины медицинского центра, определение возможности предоставления для телемедицинских лечебных услуг ТК ресурсов с требуемыми параметрами и т.д.



Рис. Эффективное использование ТК ресурсов телемедицины медицинского центра при изменении значимости предлагаемых услуг

При создании и функционировании СУ лечебными услугами телемедицины медицинского центра необходимо обеспечить тесное взаимодействие между руководителями служб ТК технологий не только на этапе разработки, но и в процессе эксплуатации.

Динамический метод эффективного использования ТК ресурсов телемедицины. Существует много методов эффективного использования сервисов ТК технологий для лечебных услуг телемедицины [5-7], однако все они в основном рассматривают только статическую ситуацию и предполагают, что значимость предлагаемых лечебных услуг телемедицины медицинского центра со временем не изменяется, что является ошибочным подходом. Кроме того, данные методы используются для статических ситуаций, т.е. считается, что ТК технологии в динамике остаются неизменными, что не соответствует действительности.

Предлагаемый в данной работе динамический метод эффективного использования ТК ресурсов телемедицины медицинского центра разработан с учетом того, что значимость лечебных услуг телемедицины в динамике может изменяться, а вовлеченные в процесс ТК ресурсы ограничены.

В разработанном методе предполагается, что основные компоненты ТК ресурсов телемедицины медицинского центра рассредоточены территориально разрозненно, а СУ ТК ресурсами телемедицины организационно представляет собой территориально-рассредоточенную иерархическую многоуровневую систему автоматизированного управления с центральным узлом, координирующим работу региональных узлов и уровней. Суть разработанного метода вербально можно описать следующими тремя укрупненными последовательными шагами:

Шаг 1. На основании значимости лечебных услуг телемедицины медицинского центра на первом этапе выявляются приоритеты поддерживающих их приложений. С учетом данной информации определяется новая политика эффективного использования ТК ресурсов телемедицины медицинского центра, которая хранится в центральном узле и дублируется в региональных узлах управления.

Шаг 2. Если стратегия значимости лечебных услуг телемедицины медицинского центра изменяется, то происходит изменение приоритетов выполняемых услуг телемедицины и определяются новые приоритеты. Естественно, что для выполняемых лечебных услуг телемедицины изменение приоритетов может сказаться на их успешном завершении, т.е. решение таких задач может быть немедленно прекращено. Что касается новых лечебных услуг телемедицины, то в зависимости от их приоритета им вообще может быть отказано в предоставлении ТК ресурса.

Шаг 3. Определяются ТК ресурсы, необходимые для решения лечебных услуг телемедицины медицинского центра, и выявляются объемы таких ресурсов, в которых нуждаются новые услуги телемедицины. Тем самым происходит эффективное использование ТК ресурсов медицинского центра, где учитываются приоритеты всех услуг телемедицины, а если ТК ресурсы ограничены, то учитываются также объемы задействованных и необходимых ТК ресурсов.

Для представления разработанной динамической математической модели эффективного использования ТК ресурсов телемедицины медицинского центра с учетом приоритетов всех лечебных телемедицинских услуг представим необходимые обозначения:

$E = \{e_i\}, i = \overline{1, m}$ - множество, элементы которого представляют собой ТК ресурсы телемедицины медицинского центра и предлагаемые лечебные услуги телемедицины. В пространство E включены все имеющиеся ТК ресурсы медицинского центра и возможные лечебные услуги телемедицины, которые могут выполняться. Из-за расширения и модификации телемедицины или установки новых лечебных услуг телемедицины добавляются новые ТК ресурсы, которые не были предусмотрены, а в случае безвозвратного удаления таких ресурсов или приложений размерность множества E соответственно увеличивается или уменьшается;

$H = \{h_i\}, i = \overline{1, m}$ - подмножество множества E , элементы которого представляют собой лечебные услуги телемедицины, обеспечивающие функционирование ТК ресурсов телемедицины и, как следствие, эффективное функционирование приложений, поддерживающих лечебные услуги телемедицины;

$G = \{g_i\}, i = \overline{1, m}$ - подмножество множества E , элементы которого представляют собой ТК ресурсы, используемые лечебными услугами телемедицины медицинского центра.

Для выбора ТК ресурсов или лечебных услуг телемедицины из множества E выделены m -мерные векторы $\overline{R_g}$ и $\overline{R_h}$, где $\overline{R_g}$ определяет элементы телемедицины, являющиеся ТК ресурсами, а $\overline{R_h}$ определяет элементы, являющиеся лечебными услугами телемедицины. Элементы данных двух векторов принимают значения “0” или “1”, где “1” устанавливается на тех позициях, например вектора $\overline{R_g}$, которые соответствуют ТК ресурсам телемедицины, а “0” - лечебным услугам телемедицины.

Коэффициенты важности ТК ресурсов телемедицины и лечебных услуг медицинского центра представлены при помощи V_1, V_2, \dots, V_m . Значения данных коэффициентов выявляются стратегиями использования ТК ресурсов, а при изменении выбранных стратегий они изменяются.

Матрица использования ТК ресурсов телемедицины медицинского центра представлена при помощи $L = \| l_{ij} \|$, $i, j = \overline{1, m}$, где l_{ij} - элемент, посредством которого определяется нормированный коэффициент использования элементом e_i элемента e_j .

Вектором $\bar{Z} = (z_1, z_2, \dots, z_m)$ представлены лечебные услуги телемедицины медицинского центра из подмножества H , которые в данный момент выполняются, где $z_j = 1$, если задача h_j на стадии выполнения, и $z_j = 0$, если данная задача не выполняется.

Вектором $\bar{Q} = (q_1, q_2, \dots, q_m)$ выявлены те лечебные услуги телемедицины медицинского центра из матрицы L , выполнение которых может быть отменено для высвобождения ТК ресурсов, или использование ими этих ресурсов может быть уменьшено для обеспечения решения новых задач, где $d_j = 1$, если выполнение лечебных услуг телемедицины h_j можно отменить, и $d_j = 0$, если данная услуга не выполняется.

Максимальная эффективность использования ТК ресурсов телемедицины медицинского центра будет обеспечена СУ (см. рис.) тогда, когда будут выполняться самые важные лечебные услуги телемедицины. Это достигается при помощи критерия

$$\max \sum_{i=1}^m v_i z_i. \quad (1)$$

Критерий (1) подразумевает достижение максимума суммарной важности лечебных услуг телемедицины медицинского центра, которые выполняются и планируются к выполнению с учетом новых значений коэффициентов важности, корректируемых при изменении стратегии использования ТК ресурсов телемедицины.

Поскольку элемент l_{ij} в матрице L является нормированным коэффициентом использования лечебной услугой телемедицины медицинского центра h_j ТК ресурса g_j , то общий объем использования ТК ресурса не может превышать 1, то есть всегда выполняется условие

$$\sum_{i=1}^m l_{ij} z_i \leq 1, \quad j = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Предположим, что появляется новая лечебная услуга телемедицины медицинского центра h'_p , $p = \overline{1, m}$, для которой начальное выполняемое условие $z_p = 0$. Если для ее выполнения недостаточно ТК ресурсов телемедицины медицинского центра, то необходимо или высвободить какие-то ТК ресурсы для выполнения h'_p , или принять решение, что h'_p не может быть выполнена, поскольку не имеет достаточную важность, с учетом стратегии ограничения на телемедицинские ресурсы, которые используются в данный момент.

Количество свободных телемедицинских ТК ресурсов g_j , которые могут быть использованы, вычисляются при помощи

$$g_j = 1 - \sum_{i=1}^m l_{ij} z_i, \quad j = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Для каждого ТК ресурса g_j , необходимого для предоставления лечебной услуги телемедицины h_i^{\setminus} , надо проверить выполнение условия

$$g_j \geq l_{pj}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (4)$$

и если данное условие выполняется, то это свидетельствует о том, что в медицинском центре имеется достаточное количество ТК ресурсов, необходимых для решения телемедицинской лечебной услуги h_i^{\setminus} , и не требуется дополнительного изменения по перераспределению ТК ресурсов медицинского центра.

Если в медицинском центре нет достаточного количества незадействованных ТК ресурсов, необходимых для решения телемедицинской лечебной услуги h_i^{\setminus} , то СУ освобождает часть ТК ресурсов медицинского центра, занятых менее важными задачами.

Обозначим через σ_j , $j = \overline{1, m}$ количество ТК ресурса g_j , не хватающего для решения телемедицинской лечебной услуги h_i^{\setminus} медицинского центра:

$$\sigma_j = g_j - l_{pj}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (5)$$

Тогда для управления перераспределением ТК ресурсов медицинского центра необходимо найти все телемедицинские лечебные услуги h_j , отмена

которых освободит ТК ресурсы медицинского центра, необходимые для решения телемедицинской услуги h_i .

Опишем три основных критерия, которые необходимо учитывать при решении данной телемедицинской лечебной услуги медицинского центра.

1. *Критерий минимальной суммарной важности телемедицинских услуг.* Телемедицинским лечебным услугам медицинского центра, у которых суммарная важность минимальна, не должны быть предоставлены (или должны быть отняты) ТК ресурсы:

$$\min \sum_{i=1}^m v_i q_i . \quad (6)$$

2. *Критерий наименьшего количества выполняемых телемедицинских услуг.* Следует приостановить выполнение наименьшего количества выполняемых на данный момент времени телемедицинских лечебных услуг медицинского центра:

$$\min \sum_{i=1}^m q_i z_i . \quad (7)$$

3. *Критерий предотвращения избыточности высвобождения ТК ресурсов.* При высвобождении ТК ресурса q_j может потребоваться прекращение выполнения достаточного количества низкоприоритетных телемедицинских лечебных услуг, что с учетом взаимозависимости телемедицинских ТК ресурсов и лечебных услуг может привести к большему освобождению некоторого ТК ресурса q_j^* , чем это необходимо, и, в конечном итоге, снизит эффективность работы. Для предотвращения избыточности высвобождения ТК ресурсов медицинского центра при решении задач телемедицины предлагается учитывать критерий

$$a_j = \sum_{i=1}^m l_{ij} q_i - \sigma_j , a_j \rightarrow \min , a_j \geq 0 , j = \overline{1, m} , \quad (8)$$

где a_j - количество ТК ресурса, которое высвобождается и которое всегда имеет положительное значение.

Трудность быстрого поиска набора вариантов эффективного использования ТК ресурсов телемедицины медицинского центра для конкретных лечебных услуг, которые удовлетворяют критериям (6)-(8), заключается в переборе большого количества комбинаций для каждого из имеющихся таких ресурсов. Для упрощения поиска введем параметр b_i^* , характеризующий значение

усредненного использования ТК ресурсов со стороны i -й лечебной услуги телемедицины. Значение данного параметра b_i^* вычисляется по формуле

$$b_i^* = \frac{\sum_{j=1}^m l_{ij} w_j}{m^*}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (9)$$

где m^* - количество ненулевых составляющих $l_{ij} w_j$, w_j - определяет использование ТК ресурса h_j лечебной услугой телемедицины. Необходимо отметить, что $w_j = 1$, если телемедицинская лечебная услуга h_j использует ТК ресурс g_j , и $w_j = 0$, если не использует g_j .

Параметр b_i^* введен с учетом предположения существования пропорциональной связи между коэффициентами использования различных ТК ресурсов одной телемедицинской лечебной услугой, т.е. если телемедицинская лечебная услуга h_j использует один из ТК ресурсов с большим значением коэффициента, то и другие ТК ресурсы также будут использоваться с большим коэффициентом.

Для разрешения конфликта между новой лечебной услугой телемедицины h_i и другими лечебными услугами телемедицины, уже использующими эти же ТК ресурсы телемедицины медицинского центра, в зависимости от значения b_i^* возможны три варианта:

- при $b_i^* = 0$ лечебная услуга телемедицины h_i использует ТК ресурсы телемедицины медицинского центра, на которые не претендует новая лечебная услуга телемедицины h_p ;
- при $b_i^* \ll b_p^*$ лечебная услуга телемедицины h_i использует столь незначительные объемы ТК ресурсов телемедицины медицинского центра, на которые претендует лечебная услуга телемедицины h_p , что удаление услуги h_i не повлияет на решение проблемы освобождения ТК ресурсов;
- в других случаях лечебная услуга телемедицины h_i использует значительные объемы тех же ТК ресурсов телемедицины медицинского центра, на которые претендует телемедицинская лечебная услуга h_p .

Таким образом, СУ ТК ресурсами телемедицины медицинского центра (см. рис.), осуществляя выделение данных ТК ресурсов для новой телемедицинской

услуги h_p и их перераспределение между существующими телемедицинскими услугами h_i при изменении стратегии, должна выполнять поиск телемедицинских лечебных услуг, подлежащих удалению, среди тех исполняемых лечебных услуг телемедицины, которые могут высвободить достаточный объем необходимых ТК ресурсов телемедицины.

Учитывая, что поставленная проблема эффективного использования ТК ресурсов медицинского центра для услуг телемедицины в реальных условиях требует больших вычислительных затрат, разработан эффективный алгоритм, вербальное описание которого состоит из следующих укрупненных блоков:

Блок 1. Осуществляется сортировка всех предлагаемых лечебных услуг телемедицины медицинского центра по приоритетности: $v_i + 1 > v_i$.

Блок 2. Из элементов множества E отмечаются лечебные услуги телемедицины медицинского центра: $H = \overline{R_h E}$.

Блок 3. Исключаются те лечебные услуги телемедицины медицинского центра, для которых важность v_i больше важности v_p задачи h_p .

Блок 4. Определяется верхняя граница количества рассматриваемых лечебных услуг телемедицины медицинского центра (I_{\max}).

Блок 5. Для каждой лечебной услуги телемедицины медицинского центра вычисляется среднее значение использования ТК ресурсов b_i^* для $i = \overline{1, I_{\max}}$.

Блок 6. Из рассмотрения удаляются те лечебные услуги телемедицины медицинского центра, которые удовлетворяют одному из трех критериев:

1) *критерий наименьшей важности лечебных услуг.* Из рассмотрения удаляются наименее важные лечебные услуги телемедицины медицинского центра:

$$Q_i = 1, \text{ если } \sum_{j=1}^i b_j^* < b_p^*, \text{ для } i = \overline{1, I_{\max}}; \quad (10)$$

2) *критерий наименьшего количества лечебных услуг.* Из рассмотрения удаляется наименьшее количество лечебных услуг телемедицины медицинского центра:

$$Q_i = 1, \text{ если } \sum_{j=i^{\max}}^i b_j^* < b_p^*, \text{ для } i = \overline{I_{\max}, 1}; \quad (11)$$

3) *критерий наиболее ресурсоемких лечебных услуг.* Из рассмотрения удаляются наиболее ресурсоемкие, но с минимальной значимостью лечебные услуги телемедицины медицинского центра.

Лечебные услуги телемедицины медицинского центра сортируются по значению $d_i = b_i^* / v_i$ так, чтобы $d_{i+1} < d_i$. После сортировки при помощи критерия (11) происходит выбор тех лечебных услуг телемедицины, которые имеют наименьшую значимость (приоритетность) и требуют большого количества ТК ресурсов. Эти выбранные лечебные услуги телемедицины удаляются из дальнейшего рассмотрения.

Блок 7. После формирования удаляемых лечебных услуг телемедицины медицинского центра сравниваются объемы высвобождаемых ТК ресурсов для каждой из услуг и определяется ТК ресурс с максимальным дефицитом $\max \sigma_j$. Определяется набор лечебных услуг телемедицины медицинского центра, которые блокируются для освобождения ТК ресурсов по одному из приведенных выше трех критериев, и b_i^* заменяется значением j -го ТК ресурса.

Опишем алгоритм работы СУ для решения проблемы распределения ТК ресурсов медицинского центра при организации лечебных услуг телемедицины.

Каждый периферийный узел СУ ИТКС медицинского центра управляет распределением своих ТК ресурсов. При этом данный периферийный узел СУ руководствуется указаниями, поступающими из центрального узла СУ. В случае, когда периферийный узел получает запрос на выделение ТК ресурса, находящегося в компетенции другого периферийного узла, то происходит их взаимодействие через узлы СУ более высокими уровнями иерархии.

Обобщенный алгоритм работы узла СУ U^n n -го уровня можно описать следующими шестью этапами.

Этап 1. Узел U^n получает запрос на выделение ТК ресурсов для лечебной услуги телемедицины h_p .

Этап 2. Узел U^n разделяет множество необходимых ТК ресурсов G_S из множества узла G_C на два подмножества G_T и G_F , которые можно определить при помощи формул

$$G_T = (G_S \setminus G_{REZ}) \cap G_C, \quad (12)$$

$$G_F = (G_S \setminus G_{REZ}) \setminus G_C, \quad (13)$$

где G_T - множество ТК ресурсов телемедицины медицинского центра, зафиксированных за этим узлом; G_F - множество ТК ресурсов телемедицины медицинского центра, находящихся в ведении других узлов СУ; G_{REZ} - множество ТК ресурсов телемедицины медицинского центра, которые зарезервированы узлами нижних уровней.

Этап 3. Узел U^n определяет возможность выделения ТК ресурсов телемедицины из множества G_F медицинского центра с учетом существующей на данный момент стратегии предоставления лечебных услуг. Если все ТК ресурсы телемедицины медицинского центра могут быть предоставлены, то они выделяются. В противном случае - узел U^{n+1} получает отказ. Все выделенные ТК ресурсы телемедицины медицинского центра идентифицируются в множество G_{REZ} , которое определяется при помощи формулы

$$G_{REZ} = G_{REZ} + G_T. \quad (14)$$

Этап 4. Если хотя бы один из ТК ресурсов телемедицины медицинского центра не закреплен за узлом (т.е. $G_{REZ} \neq 0$), то посылается запрос узлу более высокого уровня иерархии.

Этап 5. Если телемедицинская лечебная услуга h_p принадлежит множеству данного узла, то данная лечебная услуга телемедицины начинает выполняться, ей выделяются ТК ресурсы, и алгоритм завершается.

Этап 6. Если все ТК ресурсы телемедицины выделены $G_{rez} = G_S$, то следует выделить зарезервированные ТК ресурсы $G_{rez} \cap G_C$ и отправить запрос на выделение зарезервированных ТК ресурсов телемедицины узлу U^{n-1} .

Разработанный алгоритм эффективного использования ТК ресурсов медицинского центра для предоставления услуг телемедицины дает точное решение, за исключением тех случаев, когда один из коэффициентов l_{ij} существенно отклоняется от среднего значения b_i^* , однако такая ситуация очень редка.

На основе вышеописанного разработанного алгоритма предложен программный пакет TelRes на алгоритмическом языке высокого уровня Visual C++, который работает в ТК сети для операционной среды Windows. Разработанный программный пакет TelRes запускается каждый раз, когда в медицинском центре возникает необходимость в новой лечебной услуге телемедицины, или если происходит перераспределение приоритетов выполняемых лечебных услуг. Программный пакет TelRes позволяет автоматизировать и упростить динамический процесс распределения и перераспределения ТК ресурсов телемедицины медицинского центра с учетом приоритетности рассматриваемых лечебных услуг и ограничений на данные ресурсы.

В совокупности, разработанные в данной статье математические модели, алгоритм и программный пакет являются тем предлагаемым динамическим

методом, при помощи которого можно эффективно использовать ТК ресурсы для предоставления лечебных услуг телемедицины.

Выводы

1. Разработанный динамический метод может быть использован в системах управления функционированием телемедицины разнотипных и разнообразных медицинских центров, что позволяет осуществлять эффективное распределение и перераспределение общих ТК ресурсов телемедицины при возникновении новых медицинских услуг и изменении значимости рассматриваемых телемедицинских лечебных услуг.

2. Разработанные математические модели, алгоритм и программный пакет эффективного использования ТК ресурсов телемедицины медицинского центра могут быть использованы в различных иерархических системах управления ТК ресурсами.

Литература

1. **Merrell Ronald C., Charles Doarn R.** Telemedicine and e-Health // Journal Citation Report/ Published by Thomson Reuters. - 2011. - Vol. 18. - P.128-149.
2. European Commission Information Society and Media, eHealth Priorities and Strategies in European Countries: eHealth ERA report. - March 2007. - 158 p.
3. **Bashshur Rashid L., Shannon Gary W.** History of Telemedicine. ISBN e-book 978-1-934854-04-2. - Hardcover, 2009. – 415 p.
4. **Anderson G.F., Frogner B.K., Johns R.A., Reinhardt U.E.** Healthcare Spending and use of Information Technology in OECD Countries // Health Affairs. - May/June, 2006. - Vol. 25, issue 3. - P. 819-831.
5. Компьютерные сети телемедицины / **К. Камкамидзе, М. Тевдорадзе, М. Мануков и др.** - Тбилиси: Издательский дом “Технический университет”, 2009. – 130 с.
6. **Brove A., Molina- Martinez R.** 24-Hour Anonymous Medical Information Service Using the Mobile Telephone in Sweden: A Pilot Study during the Summer of 2008 / M. Jordanova, F. Lievens (Eds.) // Global Telemedicine/eHealth Updates: Knowledge Resources. - Publ. LuxExpo, Luxembourg, 2009. – Vol. 2. - P. 181-185.
7. **Castelli D., Schlachta-Fairchild L. and Pyke R.** Telenursing panel: telenursing implementation strategies and success factors / M. Jordanova, F. Lievens (Eds.) // Global Telemedicine/eHealth Updates: Knowledge Resources. - Publ. LuxExpo, Luxembourg, 2009. - Vol. 1. - P. 409-414.

*Поступила в редакцию 11.02.2015.
Принята к опубликованию 22.05.2015.*

**ՀԵՌԱԲԺՇԿՈՒԹՅԱՆ ՀԵՌԱՀԱՂՈՐԴԱԿՑԱԿԱՆ ՌԵՍՈՒՐՍՆԵՐԻ
ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ ԴԻՆԱՄԻԿ ՄԵԹՈԴ**

Ռ.Գ. Կիրակոսյան

Բժշկական կենտրոնի հեռաբժշկության խնդիրների լուծման համար մշակվել է հեռահաղորդակցական ռեսուրսների արդյունավետ բաշխման և վերաբաշխման մեթոդ՝ հաշվի առնելով առաջարկվող բուժճառայությունների առաջնահերթությունը: Առաջարկված մեթոդը ներառում է մաթեմատիկական մոդել, ալգորիթմ և ծրագրային փաթեթ և կարող է օգտագործվել կառավարման համակարգերում՝ հեռաբժշկության մեջ գործող հեռահաղորդակցական և յուրատեսակ բժշկական կենտրոններում, ինչը թույլ է տալիս իրականացնել ընդհանուր հեռահաղորդակցական ռեսուրսների արդյունավետ օգտագործումը, որոնք պայմանավորված են հեռաբժշկական նոր ծառայությունների առաջացմամբ և դրանց նշանակությունների փոփոխությամբ: Տվյալ մեթոդը կարող է նաև օգտագործվել տարատեսակ հիերարխիկ համակարգերի հեռահաղորդակցական ռեսուրսների ղեկավարման համար:

Առանցքային բաներ. հեռաբժշկություն, հեռահաղորդակցական ռեսուրսներ, հեռահաղորդակցական տեխնոլոգիաներ, ղեկավարման համակարգեր, մեթոդ, մաթեմատիկական մոդել, ալգորիթմ, ծրագրային փաթեթ:

**A DYNAMIC METHOD FOR THE EFFECTIVE USE OF
TELECOMMUNICATION RESOURCES OF TELEMEDICINE**

R.G. Kirakossian

A dynamic method for the effective distribution and redistribution of communication resources of the medical center for solving the problems in the sphere of telemedicine taking into account the priority of the proposed treatment services is developed. The proposed method includes a mathematical model, an algorithm and a software, and can be used in the control systems of functioning of telemedicine in various medical centres allowing to efficiently apply the common telecommunication resources of telemedicine at arising new medical services and changes in the importance of the considered telemedical services. This method can also be used for controlling the telecommunication resources in different hierarchical systems.

Keywords: telemedicine, telecommunication resources, communication technologies, control system, method, mathematical model, algorithm, software.