

УДК 004.7

Кривошея Денис Олегович

ГКОУ ВПО «Академия Федеральной Службы Охраны Российской Федерации»

Россия, Орел¹

Сотрудник

Denis.Krivosheya@gmail.com

Подход к оценке функциональной живучести иерархической системы видеоконференцсвязи на беспроводной ячеистой сети

Аннотация. В статье рассматривается иерархическая информационная система, развернутой на беспроводной ячеистой сети на примере системы видеоконференцсвязи. Мобильность узлов беспроводной сети приводят к тому, что существующие протоколы маршрутизации не могут должным образом реагировать на изменения структурных связей и максимальной скорости образованных каналов связи. Сегментация сети, «потеря» узлов, а так же движение отдельных элементов в совокупности с внешним воздействием могут нарушать работу информационной системы, а следовательно необходимо адаптировать механизмы управления структурой и конфигурацией таких систем с целью повышения эффективности функционирования по показателю функциональная живучесть. Работу разрабатываемых способов необходимо оценивать с учетом структуры информационной системы и выполнение ей своих функций. Основой разработанной оценки является качество выполнения ветвью иерархической системы мультимедийных функций на основе оценки субъективной R-factor. С другой стороны оценка качества зависит от структуры сети, то есть учитывается работоспособность самой ветви. Разработанный показатель позволяет оценить новые методы, а так же качество функционирования системы в условиях мобильности узлов, что является востребованным для множества различных информационных систем с иерархической организацией.

Ключевые слова: живучесть; функциональная живучесть; иерархическая информационная система; ячеистая топология; беспроводные сети; качество сеанса видеоконференции.

¹ 302028 Россия, г. Орел, ул. Полесская д.19 кв 42

Введение

Системы видеоконференцсвязи (ВКС) получили широкое распространение. В настоящее время в области ВКС наблюдается такой процесс, как софтверизация [1], когда производители переходят от программно-аппаратных решений к программным. Это стало возможным благодаря росту производительности как ПЭВМ, так и серверов. Примером может быть программная реализация сервера multipoint control unit [11]. В настоящий момент можно организовать систему ВКС и без специализированного оборудования. Расширилось и множество сетей, на которых могут быть развернуты такие системы. Если раньше проектирование происходило в расчете на то, основной средой передачи трафика будет проводная среда, то в настоящий момент приходится учитывать и беспроводные сети, набирающие популярность.

Беспроводные ячеистые сети, в англоязычной литературе – wireless mesh, обладают хорошей надежностью, так как структура этих сетей образована из полносвязной путем удаления части ребер. Самоорганизующиеся беспроводные сети так же относятся к классу беспроводных ячеистых сетей, основные особенности которых: переменная структура как по связям, так и по количеству узлов, возможность движения узлов, которая приводит к смене точек привязи мобильного абонента, переменная скорость между узлами (множество факторов, влияющих на качество функционирования беспроводных сетей). Следует отметить, что беспроводные сети так же более уязвимы к внешним воздействиям, чем проводные.

Таким образом, от систем ВКС при развертывании на беспроводных ячеистых сетях, требуется большая гибкость и скорость реагирования на изменения, оказывающих влияние на множество и качество функций таких систем. Повышение эффективности функционирования систем ВКС по показателю функциональная живучесть направлены на решение данной проблемы, которое и рассматривается в рецензируемой работе.

Рассмотрение иерархических информационных систем на примере систем ВКС обусловлено высокими требованиями, предъявляемые последними к среде передачи данных и вычислительным ресурсам узлов. Отличительной особенностью данного примера являются временные ограничения, накладываемые на системы реального времени, что требует быстрого принятия решения.

Иерархические информационные системы не в полной мере наследуют повышенные надежностные характеристики, а следовательно нуждаются в дополнительных исследованиях, для чего и разрабатывается оценка эффективности функционирования по показателю функциональная живучесть.

Основная часть

Описание структурного уровня дано в статье [7]. На структуру сети накладывается информационная система, которая относится к функциональному уровню. Под макроструктурой функционального уровня ВС будем понимать граф G_f без петель и параллельных дуг:

$$G_f = (V_f, E_f) \quad (1)$$

где V_f - множество функциональных элементов, при этом каждый элемент v_f из множества V_f принадлежит одному из элементов множества V_s , при этом на одной ЭМ может находиться несколько функциональных элементов, например сервер MCU, проху-сервер или сервер присутствия. E_f -множество функциональных связей между элементами V_f , при этом каждый из элементов множества E_f может быть представлен композицией элементов E_s .

Каждая функция $f \in F$ реализуется множеством задач Z_f , при этом каждая задача $z_{af} \in Z_f$, $a \in [0..N_{z_{af}}]$ представляет собой n -ю иерархическую структуру из $N_{z_{af}}$ структур, реализующую выполнение задачи f .

Пусть $k_{v_{fi}}(z_{af})$ – уровень иерархии узла v_{fi} функционального уровня $k \in [0 \dots k_{z_{af}} - 1]$ в задаче z_{af} , $k_{z_{af}} - 1$ – нижний уровень иерархии, нумерация уровней начинается с 0.

Тогда множество $K_{z_{af}}^i$ будет определять функциональные узлы, у которых уровень иерархии $k=i$ для задачи z_{af} .

Матрица функционирования MF , в некоторых источниках может называться матрицей текущей конфигурации, описывает выполнение функций узлами, а так же описывает иерархичность системы. Для этого в ячейках матрицы записывают узел более высокого уровня иерархии. Такой тип иерархии в литературе называется деревом. Для наивысшего узла иерархии в ячейку записывается значение -1:

$$MF(z_{af}, v_{fi}) = \begin{cases} j, & \text{если } z_{af} \text{ выполняется на } v_{fi}, k_{v_{fi}} > 0 \\ 0, & \text{если } z_{af} \text{ не выполняется на } v_{fi} \\ -1, & \text{если } z_{af} \text{ выполняется на } v_{fi}, k_{v_{fi}} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

где $v_{fi} \in V_f$, N_{V_f} – количество функциональных узлов, j – номер узла, которому подчинен v_{fi}

Матрица функционирования описывает структуру иерархических деревьев для задач z_{af} в текущий момент времени. Предполагается, что функции управления параметрами z_{af} для каждой ветви возлагаются на верхний узел иерархии.

Для описания существующих возможностей узла, опишем матрицу MFp – матрицу потенциальных возможностей:

$$MFp(z_{af}, v_{fi}) = \begin{cases} 1, & \text{если задача } z_{af} \text{ может выполняться на узле } v_{fi} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (3)$$

Матрица функциональных возможностей описывает, способен ли в текущий момент времени узел выполнять задачу z_{af} .

Пусть $Pm(v_{fi}, v_{fj}) = (E_{ij_1}, E_{ij_2}, \dots, E_{ij_{pm_{ij}}})$ – функция протокола маршрутизации, которая возвращает множество путей E_{ij} , по которым обеспечивается связь между узлами сети v_{fi} и v_{fj} . При этом каждый путь E_{ij} определяет порядок прохождения трафика по ребрам сети. pm_{ij} – множество возможных путей доставки трафика, предложенные протоколом маршрутизации. В зависимости от протокола маршрутизации может возвращаться наилучший путь или множество путей.

Запишем выражение, определяющее множество ветвей иерархической структуры функционального уровня, которое может организовать система. Маршруты в графе между узлом верхнего уровня иерархии v_{fl} и нижнего v_{fj} будут определяться:

$$M_{ij} = (v_{fl}, p_{l,i_1}, v_{fi_1}, p_{i_1,i_2}, \dots, p_{k_{z_{af}}-2,j}, v_{fj}) \quad (4),$$

где $p_{l,i_1} \in Pm(v_{fl}, v_{fi_1})$, $p_{i_1,i_2} \in Pm(v_{fi_1}, v_{fi_2})$, ..., $p_{k_{z_{af}}-2,j} \in Pm(v_{fk_{z_{af}}-2}, v_{fj})$, $v_{fl} \in K_{z_{af}}^0$,

$$v_{fi1} \in K_{z_{af}}^1, i1 = \overline{1, N_{i1}}, N_{i1} = |K_{z_{af}}^1|, N v_{fi2} \in K_{z_{af}}^{i2}, i2 = \overline{1, N_{i2}}, N_{i2} = |K_{z_{af}}^{i2}|, \dots, v_{fj} \in K_{z_{af}}^{k_{z_{af}}^{-1}}, j = \overline{1, N_{ik_{z_{af}}^{-1}}}, N_{ik_{z_{af}}^{-1}} = |K_{z_{af}}^{k_{z_{af}}^{-1}}|.$$

Следует отметить, что для задания пути в графе могут использоваться различные обозначения, которые состоят из последовательного перечисления только вершин, только ребер или и вершин и ребер. В формуле (4) используется наиболее подробное описание.

Кроме самого маршрута сеанса видеоконференцсвязи определим требования информационной системы к вычислительным ресурсам узлов и максимальной скорости каналов связи.

Введем понятие относительной единицы производительности вычислительных средств m и определим требуемую для обеспечения необходимого времени выполнения производительность вычислительных ресурсов [4] как

$$r_f = o_f * m \tag{5}$$

а производительность вычислительных ресурсов узла v_i определим как

$$R_i = b_i * m \tag{6}$$

Производительность вычислительных ресурсов определяется сочетанием быстродействия процессора, объема оперативной памяти, быстродействием каналов ввода-вывода и т.д. Однако на практике достаточно просто опытным путем определить коэффициенты o_f и b_i , сравнив производительность всех задач в каждом узле.

Для каждой задачи на узле каждого уровня вводится матрица табличных данных производительностей $MI(z_{af}, k_{z_{af}}, con)$ для задачи z_{af} , где con – порядковый номер, соответствующий заданной конфигурации (набору управляющих параметров), $con = \overline{0, con_{z_{af}}}$.

В зависимости от количества управляющих параметров и их возможных значений количество конфигураций может быть различным. Как правило, список доступных конфигураций определяет оператор на этапе настройки.

Необходимая производительность узла v_i будет определяться как:

$$R_i^{треб} = \sum_{f=1}^{N_f} \sum_{a=1}^{Z_f} \theta(|MF(z_{af}, v_{fi})|) * MI(z_{af}, k_{v_{fi}}, cf(z_{af})) \tag{7}$$

где $\theta(x)$ – функция Хевисайда, определенная как

$$\theta(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \tag{8}$$

В аналогии с $MI(z_{af}, k_{z_{af}}, con)$ введем матрицу табличных данных $Mic(z_{af}, k_{z_{af}}, con)$, которая определяет требования к максимальной технической скорости для задачи z_{af} между узлами уровня иерархии $k_{z_{af}}$ и вышестоящим уровнем. Тогда требуемая максимальная скорость для узла

$$u_i^{треб}(v_{fi}) = \sum_{f=1}^{N_f} \sum_{a=1}^{Z_f} \theta(|MF(z_{af}, v_{fi})|) * Mic(z_{af}, cf(z_{af})) \tag{9}$$

Тогда полные требования к максимальной скорости исходящего потока узла будет определяться как сумма требований максимальной скорости к узлам более высокого уровня и суммой требований узлов более низкого при их наличии:

$$u_i^{\text{треб}}(v_{fi}) = \sum_{f=1}^{N_F} \sum_{a=1}^{Z_f} \left(\theta \left(MF(z_{af}, v_{fi})(t) \right) * Mlc \left(z_{af}, k_{v_{fi}}, cf(z_{af}) \right) + \sum_{MF(z_{af}, v_{fj})=v_{fi}} Mlc \left(z_{af}, k_{v_{fj}}, cf(z_{af}) \right) \right) \quad (10)$$

В результате запишем общее выражение, определяющее множество путей в графе и накладываемые ограничения на узлы и связи между ними:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{lj} = (v_{fl}, p_{l,i1}, v_{fi1}, p_{i1,i2}, \dots, p_{k_{z_{af}}-2,j}, v_{fj}) \\ R_i^{\text{треб}} = \sum_{f=1}^{N_F} \sum_{a=1}^{Z_f} \theta(|MF(z_{af}, v_{fi})|) * MI(z_{af}, k_{v_{fi}}, cf(z_{af})), \text{ где } i = \overline{1, k_{z_{af}} - 1} \\ u_i^{\text{треб}}(v_{fi}) = \sum_{f=1}^{N_F} \sum_{a=1}^{Z_f} \left(\theta \left(MF(z_{af}, v_{fi}) \right) * Mlc \left(z_{af}, k_{v_{fi}}, cf(z_{af}) \right) + \sum_{MF(z_{af}, v_{fj})=v_{fi}} Mlc \left(z_{af}, k_{v_{fj}}, cf(z_{af}) \right) \right), \text{ где } i = \overline{1, k_{z_{af}} - 1} \end{array} \right. \quad (11)$$

Таким образом получаем множество путей между двумя узлами нижнего и верхнего уровня иерархии, а так же ограничения, накладываемые на узлы.

Модель внешнего воздействия на информационную иерархической системы

В работе выдвинем гипотезу, согласно которой ярусы иерархической системы равноуязвимы, а узлы одного яруса имеют равную вероятность внешнего воздействия. Тогда вероятность того, что произойдет функциональный отказ модуля, который решает задачу z_{af} на узле v_{fi} будет обратно пропорциональна уровню количеству уровней иерархии в информационной системе $K + 1$, количеству узлов на уровне, а так же количеству функций, которые выполняет система [6]:

$$\gamma_l = \left(\frac{V}{(K+1)V_l} \right) \quad (12)$$

V_l – количество узлов на l -ом уровне иерархии, где $l \in [0 \dots k]$, V – всего узлов в иерархической структуре.

Тогда получим, что вероятность функционального отказа γ_{li} на функциональном узле будет равна v_{fi} :

$$\gamma_{li}^{v_{fi}} = \frac{\sum_{f=1}^{N_F} \sum_{a=1}^{Z_f} \theta(|MF(z_{af}, v_{fi})|)}{k_{z_{af}} \sum_{f=1}^{N_F} \sum_{i=1}^{N_{V_f}} \sum_{k_{v_{fi}}(z_{af})=1} \theta(|MF(z_{af}, v_{fi})|)} \quad (13)$$

Тогда вероятность отказа каждого узла на l -ом уровне иерархии будет для задачи z_{af} определяться как:

$$\gamma_l(z_{af}) = \frac{\sum_{i=1}^{N_{V_f}} \theta(|MF(z_{af}, v_{fi})|)}{k_{z_{af}} \sum_{i=1}^{N_{V_f}} \sum_{k_{v_{fi}}(z_{af})=1} \theta(|MF(z_{af}, v_{fi})|)}$$

В соответствии с заданными вероятностями опишем изменения системы в момент времени t относительно предыдущего состояния в матрице потенциальных возможностей MFp и матрице функционирования MF :

$$MFp(z_{af}, v_{fi}) = \begin{cases} MFp(z_{af}, v_{fi}), & \text{с вероятностью } 1 - \gamma_l(z_{af}) \\ 0, & \text{с вероятностью } \gamma_l(z_{af}) \end{cases} \quad (14)$$

$$MF(z_{af}, v_{fi})(t) = \begin{cases} MF(z_{af}, v_{fi}), & \text{с вероятностью } 1 - \gamma_1(z_{af}) \\ 0, & \text{с вероятностью } \gamma_1(z_{af}) \end{cases} \quad (15)$$

где $l = k_{v_{fi}}(z_{af})$

Таким образом, предполагаем, что воздействие на систему осуществляется одиночными испытаниями Бернулли.

Показатель живучести

С учетом того, что для оказания услуг ВКС должно быть не менее двух участников, наиболее подходящим является критерий среднее количество работоспособных ветвей [2,8,9]:

$$\bar{N}(S) = \sum_{i=1}^{N_0} \left(P_i \left(\frac{t}{S} \right) (N_0 - i) \right) \quad (16)$$

где $P_i \left(\frac{t}{S} \right)$ вероятность того, что в момент времени t неработоспособны i ветвей, N_0 – количество ветвей в полностью работоспособной структуре;

- средняя эффективность работоспособных ветвей:

$$C \left(P \left(\frac{t}{S} \right) \right) = \sum_{i=1}^{N_0} \left(P_i \left(\frac{t}{S} \right) c_i (N_0 - i) \right) \quad (17)$$

c_i - эффективность выполнения ветвью своих функций.

Одной из наиболее популярных оценок живучести является условная функция живучести, которая определяет соотношение эффективности выполнения функций текущей структуры к полностью работоспособной [3,8]:

$$Y_i(t) = C(t, S_i) / C(t, S_0) \quad (18)$$

Таким образом, необходимо определить работоспособную структуру и эффективность ее работы.

Для определения качества выполняемых задач в организации и проведении видеоконференцсвязи был выбран субъективный показатель качества аудио и видео данных – R-factor, имеющий однозначное соответствие с оценкой MOS.

В математической модели Яновского [10] предложено следующий показатель качества:

$$H = H_0 - Is - Id - Ie + A \quad (19)$$

где H_0 – максимально возможное значение оценки, Is – искажения, вносимые кодеками и шумами в КС, Id – искажения, вносимые за счет суммарной сквозной задержки, Ie – искажения, вносимые оборудованием, A – фактор преимущества.

Тогда оценка качества ветви системы ВКС будем обозначим $H_i(z_{af})$, где i - нижний индекс узла нижнего уровня иерархии v_{fi} , выполняющего задачу z_{af} . Под работоспособностью ветви будем понимать способность ее выполнять свои функции должным образом. Для этого необходимо проверка на доступность ресурсов для их выполнения.

Определим загруженность узлов и каналов связи. Коэффициент загруженности узла будет определяться как:

$$k_{rv_i} = \frac{R_i^{\text{треб}}}{R_i} \quad (20)$$

В случае, если $k_{rv_i} \geq 1$, узел работает в критическом режиме и не может корректно, без ошибок и задержек, выполнять тот объем функций, который на него возложен.

Для разработанной математической модели введем коэффициент k_{uv_i} , определяющий выполнение требований по пропускной способности

$$k_{uv_i} = \frac{u_i^{\text{треб}}(v_{fi})}{\sum_{j=1}^N MT(i,j) * u_{ij_{\text{тек}}}} \quad (21)$$

Тогда для любого узла нижнего уровня, определяющего ветвь иерархии получим:

$$C(v_{fi}, z_{af}) = \begin{cases} \min(1, \max(\frac{1}{k_{rv}(v_{fi})}, \frac{1}{k_{uv}(v_{fi})}, C(v_{fMF(z_{af}, v_{fi})}, z_{af}))), & \text{если } MF(z_{af}, v_{fi}) > 0 \\ 0, & \text{если } MF(z_{af}, v_{fi}) = 0 \end{cases}$$

$$\min \left(1, \max \left(\frac{1}{k_{rv}(v_{fi})}, \frac{1}{k_{uv}(v_{fi})}, \frac{1}{k_{uv}(v_{MF(z_{af}, v_{fi})})}, \frac{1}{k_{rv}(v_{MF(z_{af}, v_{fi})})} \right) \right), \text{ если } MF(z_{af}, v_{fi}) = -1 \quad (22)$$

Получаем, что данная рекурсивная функция определяет работоспособность ветвей как: 0 – не работоспособная, (0..1) – частично работоспособная, 1- работоспособная в полной мере.

Тогда

$$Y_i(z_{af}) = \frac{C(v_{fi}, z_{af}) * H_i(z_{af})}{H_{imax}(z_{af})} \quad (23)$$

где $H_{imax}(z_{af})$ – максимально возможно качество, с которой ветвь задачи z_{af} может выполнять свои функции.

Живучесть системы будет определяться как

$$Y = \frac{\sum_{f=1}^{N_F} \sum_{a=1}^{Z_f} \sum_{j \in K_{z_{af}}}^{N_{V_f}} k_{z_{af}-1}(v_{fi}, z_{af}) * H_i(z_{af})}{\sum_{f=1}^{N_F} \sum_{a=1}^{Z_f} \sum_{j \in K_{z_{af}}}^{N_{V_f}} H_{imax}(z_{af})} \quad (24)$$

При этом $Y \in [0..1]$. Полученная оценка позволяет оценить функциональную живучесть иерархической информационной системы с множеством функций. В статье при рассмотрении функций использовалась качественная оценка, используемая для аудио и видео данных. Реализация [5] данной оценки была исследована и доказана адекватность. В дальней $H_i(z_{af})$ может быть расширено и для других функций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барсков, А. Г. ВКС уже не «Остров». / А. Г. Барсков // Журнал сетевых решений/LAN, №10, 2013. – С. 48-58.
2. Громов, Ю. Ю. Анализ живучести информационных сетей / Ю.Ю. Громов, Д.Е. Винокуров, Т.Г. Самхарадзе, И.И. Пасечников // - Информационные процессы и управление, №1 – 2006. – С. 138-155.
3. Додонов, А. Г. Живучесть информационных систем. / А.Г. Додонов, Д.В. Ладнэ // К.: Наукова Думка, 2011. – 256 с.
4. Додонов, А. Г. К вопросу живучести корпоративных информационных систем. /А.Г. Додонов, Д.В. Флейтман // ISSN 1560-9189 Реєстрація, зберігання і обробка даних. Т. 6, № 2, 2004, - С. 33-41.
5. Имитационная модель функционального уровня системы видеоконференцсвязи, развернутой на беспроводной ячеистой сети «FuncLevelID»: свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2014617858 / Е.В. Лебедеико, А.Ю. Александров, Д.О. Кривошея. Заявка №2014615699 от 16.06.2014.
6. Кривошея, Д. О. Исследование подходов к оценке функциональной живучести систем и их применимость к системам видеоконференцсвязи на базе беспроводных сетей с ячеистой архитектурой. / Д.О. Кривошея, Е.В. Лебедеико // Информационные технологии моделирования и управления №2(80), 2013. – С. 166-172.
7. Кривошея, Д. О. Исследование функциональной живучести модели системы видеоконференцсвязи, развернутой на беспроводной ячеистой сети. // Интернет-журнал «Наукоедение», 2013 №4 (17) [Электронный ресурс].-М. 2013. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/41tvn413.pdf>, свободный – Загл. с экрана.
8. Стекольников, Ю. И. Живучесть систем. – С.-П.: Политехника, 2002. – 155 с.
9. Черкесов, Г. Н. Методы и модели оценки живучести сложных систем. Конспект лекций –М: Знание, 1987. – 55 с.
10. Яновский, Г. Г. Оценка качества передачи речи в сетях IP. / Г.Г. Яновский // Вестник связи №2, 2008 – С. 1-7.
11. OpenMCU.ru, электронный ресурс <http://openmcsu.ru>, время доступа 22.03.14. 12:44.

Рецензент: Прокофьев Александр Николаевич, Первый проректор по учебной работе, д.т.н., доцент.

Denis Krivosheya

The Academy of Federal Security Guard Service of the Russian Federation
Russia, Orel
Denis.Krivosheya@gmail.com

Approach to the assessment of functional survivability of a hierarchical system of video conferencing on a wireless mesh network

Abstract. The article deals with a hierarchical information system deployed on a wireless mesh network system as an example of video conferencing. Mobility of wireless nodes result to the fact that existing routing protocols can't adequately respond to changes in the structural relationships and the maximum speed of educated communication channels. Network segmentation, "loss" of nodes, as well as the movement of individual elements in conjunction with the external influence can disrupt the information system, and therefore it is necessary to adapt the mechanisms controlling the structure and configuration of these systems in order to increase the efficiency of in terms of functional vitality. Work developed methods should be assessed taking into account the structure of the information system and its implementation of its functions. The basis of assessment is developed quality of a branch of a hierarchical system of multimedia functions on the basis of subjective evaluation of R-factor. On the other hand depends on the assessment of the quality of the network structure that is considered the branch operation itself. Develop indicators to evaluate developed methods, as well as the quality of the system in terms of mobility of nodes, which is popular for a variety of different information systems with a hierarchical organization.

Keywords: viability; functional vitality; hierarchical information system; mesh; wireless network; the quality of videoconference.

REFERENCES

1. Barskov, A. G. VKS uzhe ne «Ostrov». / A. G. Barskov // Zhurnal setevyh reshenij/LAN, №10, 2013. – S. 48-58.
2. Gromov, Ju. Ju. Analiz zhivuchesti informacionnyh setej / Ju.Ju. Gromov, D.E. Vinokurov, T.G. Samharadze, I.I. Pasechnikov // - Informacionnye processy i upravlenie, №1 – 2006. – S. 138-155.
3. Dodonov, A. G. Zhivuchest' informacionnyh sistem. / A.G. Dodonov, D.V. Ladjne // K.: Naukova Dumka, 2011. – 256 s.
4. Dodonov, A. G. K voprosu zhivuchesti korporativnyh informacionnyh sistem. /A.G. Dodonov, D.V. Flejtman // ISSN 1560-9189 Reestracija, zberigannja i obrobka danih. T. 6, № 2, 2004, - S. 33-41.
5. Imitacionnaja model' funkcional'nogo urovnja sistemy videokonferencsvjazi, razvernutoj na besprovodnoj jacheistoj seti «FuncLevelID»: svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programm dlja JeVM № 2014617858 / E.V. Lebedenko, A.Ju. Aleksandrov, D.O. Krivosheja. Zajavka №2014615699 ot 16.06.2014.
6. Krivosheja, D. O. Issledovanie podhodov k ocenke funkcional'noj zhivuchesti sistem i ih primenimost' k sistemam videokonferencsvjazi na baze besprovodnyh setej s jacheistoj arhitekturoj. / D.O. Krivosheja, E.V. Lebedenko // Informacionnye tehnologii modelirovanija i upravlenija №2(80), 2013. – S. 166-172.
7. Krivosheja, D. O. Issledovanie funkcional'noj zhivuchesti modeli sistemy videokonferencsvjazi, razvernutoj na besprovodnoj jacheistoj seti. // Internet-zhurnal «Naukovedenie», 2013 №4 (17) [Jelektronnyj resurs].-M. 2013. – Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/41tvn413.pdf>, svobodnyj – Zagl. s jekrana.
8. Stekol'nikov, Ju. I. Zhivuchest' sistem. – S.-P.: Politehnika, 2002. – 155 s.
9. Cherkesov, G. N. Metody i modeli ocenki zhivuchesti slozhnyh sistem. Konspekt lekcij –M: Znanie, 1987. – 55 s.
10. Janovskij, G. G. Ocenka kachestva peredachi rechi v setjah IP. / G.G. Janovskij // Vestnik svjazi №2, 2008 – S. 1-7.
11. OpenMCU-ru, jelektronnyj resurs <http://openmcu.ru>, vremja dostupa 22.03.14. 12:44.