

КОНЦЕПЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ ОПИСАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ СПЕЦИФИКАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТАМ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

М.М. Ластовченко, В.И. Биляк, И.Э. Горбунов, В.Е. Русецкий

Институт программных систем НАН Украины
03187, Киев, проспект Академика Глушкова, 40,
тел.: (044) 440 4343, e-mail: bil_vitaliy@mail.ru

Рассмотрен фрагмент программной среды спецификаций требований с применением модифицированного языка описаний, моделирования и спецификаций. Приведен пример спецификации требований к процессам реконфигурации топологий беспроводной сети с количественным анализом эффективности.

The fragment of the program environment of specifications of requirements with application of the modified descriptions, modeling and specifications language is considered. The example of the specification of requirements for topology reconfiguration processes of a wireless network with the quantitative analysis of efficiency is provided.

Введение

В настоящее время первоочередной задачей развития глобальной сети Интернет является создание средств «последней мили» [1]. Режимы видеоконференцсвязи (ВКС), реализуемые в рамках сетей Интернет, требуют передачи мультимедийного трафика (ММТ) между взаимодействующими пользователями с высоким качеством (QoS) и скоростью передачи ($V \geq 10$ Мбит/с) [2]. Этим требованиям в определенной степени отвечают беспроводные локальные (БЛСС) (HIPERLAN) и беспроводные магистральные сети связи (БМСС) (WATM, BRAN) [2, 3]. Однако, существующая стандартизация процессов проектирования, разработки, и главное, применения их в качестве «последней мили» не отвечает требованиям сегодняшнего дня. Системы спецификации требований как к компонентам беспроводных сетей, так и к режимам их применения только начинают формироваться [4, 5].

В работе приводится краткий анализ процессов функционирования наиболее перспективной беспроводной сети с выделением проблемы реконфигурации ее топологии (перераспределения выделенного радиоспектра между пользователями) [6]. На примере спецификации требований к процессу реконфигурации рассматривается фрагмент принципиально новой технологии автоматизированного проектирования, программные средства которой (языки описаний, моделирования и спецификаций) усовершенствованы за счет введения количественного анализа в процесс спецификации [4, 5]. В заключение приводятся результаты, иллюстрирующие эффективность применения модифицированного языка описаний, моделирования и спецификаций – SMDL.

1. Требования к подсистеме реконфигурации топологии широкополосной радиосети

Широкополосная сеть радиодоступа (broadband radio access network- BRAN), которая была стандартизирована европейским институтом стандартов по телекоммуникациям (ETSI), является возможным выбором для последней мили, как канал уровня радиодоступа (RAL) для магистральной беспроводной сети WATM. Сеть BRAN была стандартизирована независимо от WATM (это сеть физического уровня типа SDH), она объединяется, как с WATM (аналогом ATM – SDH) так и с высокоскоростными локальными сетями HIPERLAN. Скорость передачи для локальных сетей от 25 Мбит/с и выше, а для магистральных трактов связи, как и у технологии SDH, $V \geq 155$ Мбит/с) [2].

Поддерживая разные типы информационного обмена (в т.ч. и ММТ), транспортный поток можно уплотнять для повышения эффективности передачи. Соединения при этом могут быть асимметричными (как, например, в типичном сценарии WWW, когда много потребителей потребляют существенные объемы информации из серверов, отправляя на серверы лишь небольшое количество данных). Кроме того, если нужна большая пропускная способность, можно установить дополнительный трансивер, расширив полосу пропускания радиоканала, тогда как для проводных терминалов это требовало бы прокладки дополнительных кабелей. Основным рынком для BRAN является ряд мелких и средних компаний, которым необходим выход в Internet для организации виртуальных частных сетей (в т.ч. и для проведения мультимедийных конференций) [1].

Стандартизация BRAN охватывает довольно большие масштабы: мобильность со скоростью передачи данных 25-155 Мбит/с (радиус передачи в границах 5 м – 50 км). Главная проблема сегодняшнего дня это реконфигурация топологии сети BRAN в условиях взаимных помех и нестабильности самого выделенного радиоспектра [3].

Как сеть доступа, технология BRAN не зависит от протоколов стационарных сетей. Таким образом, BRAN может использоваться для сетей ATM и TCP/IP (рис. 1). Уровень DLC сети BRAN предлагает общий интерфейс для более высоких уровней. Для охвата специальных характеристик беспроводных линий связи и непосредственной адаптации к разным сетевым технологиям более высоких уровней BRAN предоставляет подуровень сетевой конвергенции. Это уровень, который может использоваться беспроводными сетями ATM или сетями IP. Если в качестве уровня RAL для WATM используется BRAN, то базовые сети ATM и IP будут использовать службы подуровня конвергенции сети BRAN.

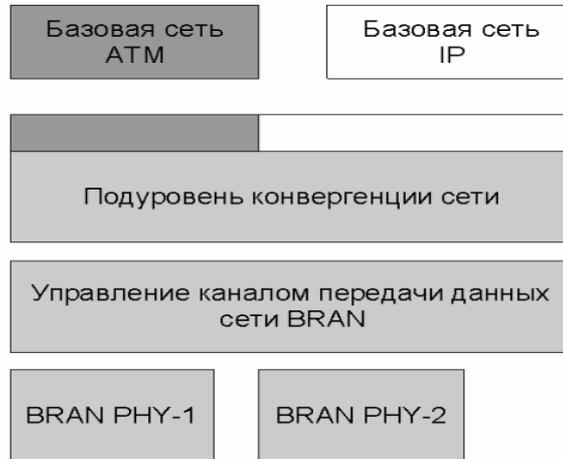


Рис.1. Многоуровневая архитектура сети доступа BRAN

Выделяя эталонную модель оконечной (сотовой) сети HIPERLAN 2, можно определить, что внешняя сеть связана с коммутатором, который поддерживает только мобильность. Этот коммутатор имеет точку беспроводного доступа, которую можно разделить на две части: контроллер и трансивер. Следующим компонентом радиointерфейса H2.1.1 является беспроводной терминальный адаптер. Вместе точка доступа и беспроводной терминальный адаптер образуют беспроводную систему, которая связана с беспроводным терминальным адаптером. (Пользователь теперь управляет только мобильностью, а не беспроводным доступом). В месте с тем, беспроводной доступ в случае нарушения заданного режима связи не может восстановить режим, меняя (расширяя) полосу выделенных радиочастот [3]. Для решения этой задачи в систему радиодоступа должна быть введена подсистема реконфигурации полосы частот.

Надежность функционирования сети BRAN как обеспечение заданного режима передачи MMT обусловлена наличием широкополосных антенн [6]. Антенное обеспечение сети BRAN должно выполнять команды подсистемы реконфигурации выделяя необходимую полосу для своевременной передачи MMT с заданным качеством обслуживания – QoS.

Исходя из этого требования, в первую очередь, необходимо рассмотреть антенное обеспечение. На сегодняшний день наиболее перспективными являются антенны компании NERA [6]. Каждая антенна имеет до двух, трех (а то и больше) антенных лучей: широкополосных рефлекторов, которые применяются в разных направлениях передачи с переменным сектором (углом луча) действия от 1.5 до 10 градусов [2, 3, 6]. Если антенна имеет два рефлектора, то это фиксируется как возможность узла передавать или осуществлять ретрансляцию одновременно в двух направлениях. Связанность каждого l узла коммутации (УК) в этом случае равняется $l_{ij} = 2$ (ij – направление взаимодействия между i -м и j -м УК).

Таким образом, каждый УК сети характеризуется наличием реконфигурируемых широкополосных антенн многолучевого применения (ШАМП). На рис. 2 показаны две топологии сети: кольцевая с УК, которые имеют $l_{ij} = 2$ и ячеистая, где УК имеют как две, три так и четыре ШАМП ($l_{ij} = 2, l_{ij} = 3$ и $l_{ij} = 4$).

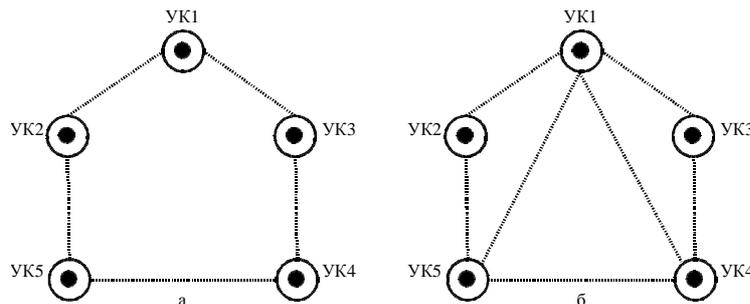


Рис. 2. Топология сети BRAN: а - кольцевая, б - ячеистая

Каждое направление ШАМП в свою очередь характеризуется шириной полосы частот (числом каналов передачи симплексного или дуплексного применения). Необходимо отметить, что широкополосная антенна может применять технологию передачи шумоподобными сигналами (ШПС).

2. Анализ особенностей применения языков описания, моделирования и спецификации требований

Проблеме спецификации требований к проектируемым системам связи более тридцати лет [7]. Из всего многообразия языков на сегодняшний день можно выделить SDL, MSC, ASN1, TTCN и UML(последний как универсальный ориентирован на процесс проектирования сложных программных систем и может быть использован на системотехническом уровне над архитектурой SDL).

В таблице приведены основные характеристики перечисленных языков.

Характеристики языков описаний, моделирования и спецификаций Таблица

Определение языка	Предназначение языка	Базовый аппарат	Положительные особенности использования
SDL язык описаний и спецификаций [8]	Описание систем и процессов их функционирования в рамках многоуровневой архитектуры вплоть до конкретных процедур процесса	Многоуровневая архитектура взаимодействия. Теория конечных автоматов	Возможность описания и спецификации процедур процесса. Разработка логических моделей протоколов
MSC язык определения временных последовательностей взаимодействия [9]	Воспроизведение сценариев взаимодействия: обмен сигналами в процессах функционирования	Временные диаграммы (карты взаимодействия) сценариев с обработкой сигналов	Описание сценариев с обработкой и обменом сигналами, управление процедурами
ASN1 язык спецификации данных [10]	Описание и спецификация композиционных типов данных с преобразованием их битовые потоки	Базовые спецификации данных в протоколах взаимодействия открытых систем (ВОС)	Описание поведения систем дополняется описанием данных
TTCN язык тестирования [10]	Иерархия тестов взаимодействия (испытаний) с проектируемой системой	Концепция верхнего и нижнего тестов	Позволяет тестировать логическую модель, описанную на SDL и MSC
UML универсальный язык моделирования [11]	Разработка программных объектно-ориентированных систем	Объектно-ориентированные методологии проектирования	Иерархия распределенных (в т.ч. параллельных) программных систем как надстройка над системами SDL

Кроме вышеописанных языков (таблица), следует указать на проблему внедрения техники объектного моделирования (ОМТ), которая базируется на следующих составляющих системотехнического анализа: объектное моделирование, динамическое моделирование, функциональное моделирование [10].

Объектное моделирование формирует диаграммы классов с системой обозначений логических объектов и расширенными объектно-ориентированными концепциями операций (исследование свойств) и диаграммы инстанций, воспроизводящие моментные сценарии («снимки» системы).

Динамическое моделирование формирует диаграммы событий и диаграммы переходов из состояния в состояние процесса функционирования системы.

Функциональное моделирование формирует схемы информационных потоков, которые описываются правилами обозначений структурного анализа.

Технология ОМТ как и UML мало подходит для проектирования аппаратно-программных средств (АПС) систем связи, но для определения требований к транспортной платформе (ТП) интеллектуальной сети (ИС) она необходима.

Во всех вышерассмотренных языках (SDL, MSC, ASN1, TTCN) отсутствует количественный анализ эффективности решений, применяемых при проектировании. Аналитические модели системотехнического анализа с многоуровневой архитектурой математического воспроизведения сетей массового обслуживания (СМО) с выходом на системы массового обслуживания (СМО) пока еще отсутствует [7]. Проблемы ситуационного управления в условиях недостаточной надежности компонент так же находятся на начальной стадии разработки [12]. Однако уже давно была для этих целей начата апробация целого ряда имитационных моделей.

В свете развития языка SDL создан язык SDL/PLUS [13], который базировался на понятии обобщенного конечного автомата и языка программирования Pascal. Язык SDL/PLUS использовался для

прототипирования и обработки логических структур протоколов связи в электронных АТС. Более эффективными были попытки введения количественного анализа в процессы описаний и спецификации Г.А. Иониным, Я.Я. Седоном, В.В. Супе, которые в развитие языка SDL разработали систему программирования алгоритмов и моделей (СПАМ) [14, 15], позволяющую в процессе проектирования осуществлять имитационное моделирование тех или иных ситуаций (процедур) процесса. Однако в этих работах решались только задачи проектирования электронных АТС, проблема проектирования вычислительных (цифровых) сетей находилась на начальной стадии своего формирования [16].

Бурные темпы развития широкополосных транспортных платформ (ШТП) для ИС, которые базируются на принципиально новые технологии ATM/DWDM и WATM/BRAN, требуют постоянного развития средств проектирования с расширением программной среды проектирования (SDL, MSC, ASN1, TTCN) средствами итеративного (аналитико-имитационного) моделирования для количественного анализа специфицируемых требований [5].

Возвращаясь к узлу коммутации сети BRAN (рис. 2), в систему доступа к радиоспектру которого введена подсистема реконфигурации полосы пропускания (назначения того или иного числа каналов), можно описать процесс реконфигурации диаграммами языка SMDL (рис. 3). В отличие от стандартных диаграмм SDL [8, 10] в этой диаграмме в соответствии с методологией расширения языка (язык описаний, моделирования и спецификаций – SMDL) введен подблок реконфигурации, в основу которого положена аналитическая модель анализа процессов реконфигурации [17, 18]. Получив сигнал S1 (данные мониторинга допустимых порогов снижения скорости передачи $V_{AC} < V_{TP}$) вызывается процедура реконфигурации с помощью которой вычисляется необходимое число каналов. В топологию вводится новое число каналов для ЛС. При этом в основу вычислительной процедуры положена предварительно апробированная математическая модель.

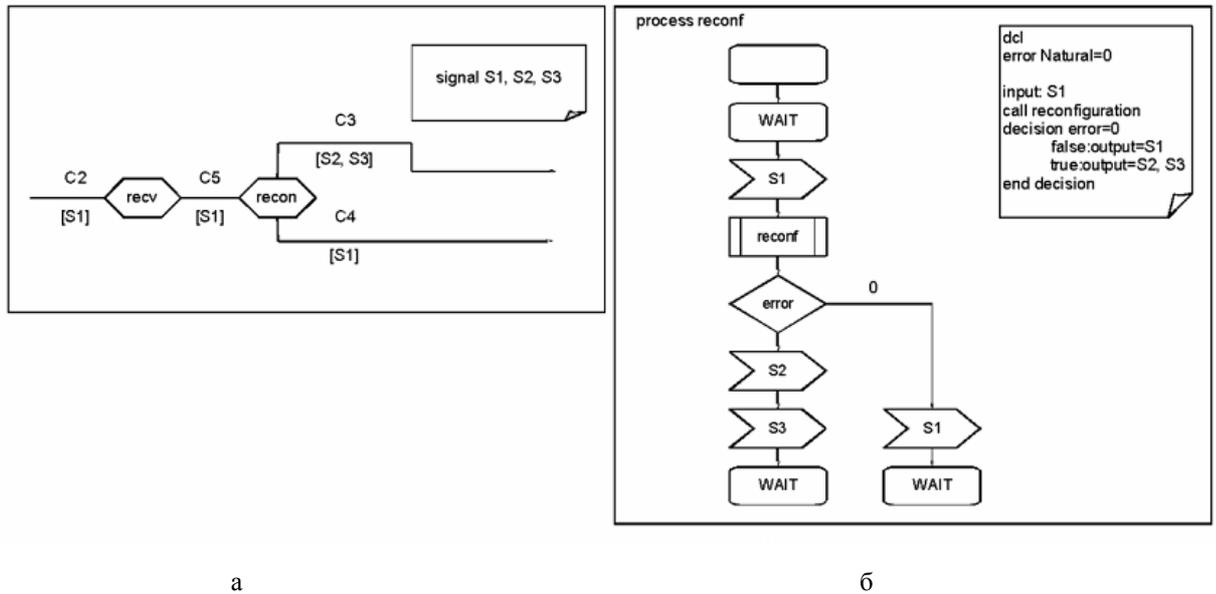


Рис. 3. Диаграммы описания блока приемника: а – с подблоком реконфигурации каналов, б – представленные на языке SMD

Показаны на рис. 3 диаграммы, аналогичны представленным на языке SMDL в работе [19]. Отличием является реализуемая модель количественного анализа. На рис. 3 используется модель анализа эффективности реконфигурации ЛС (полосы пропускания ЛС), а на рис. 6 работы [19] – модель анализа эффективности коррекции длины кадров, формируемых локальным интерфейсом управления (LMI) на канальном уровне сети Frame Relay.

Сущность описанного процесса (поведения ЛС в сети BRAN) сводится к следующему: в блоке приемника (в системе доступа к радиоспектру) поддерживается постоянный мониторинг (сигнал S1) заданного порога скорости передачи ($V \geq V_{TP}$). При нарушении этого порога, в зависимости от степени потери скорости ΔV осуществляется расчет числа дополнительных каналов (степень расширения полосы). Сигнал S2 – новое назначение числа каналов, а сигнал S3 – новое значение оставшегося ресурса полосы (резервных каналов). Реконфигурация может быть повторена (если были допущены технические ошибки), что позволяет гарантировать безошибочность процесса реконфигурации в целом.

Количество каналов в каждом направлении зависит от прослойки полосы спектра, который предоставляется каждому направлению (каждой ШАМП). В вышеприведенной ШАМП фирмы NERA количество каналов определяется скоростью передачи V_{ij} по каждому из них.

$$V_{ij} = F \cdot \log_2 \left[1 + \left(\frac{P_c}{P_u} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где F - полоса выделенных частот радио спектра; $- P_c/P_u$ - соотношения сигнал/шум (Signal to Noise Ratio, SNR).

В стандарте IEEE 802.11b $F = 2.4$ ГГц. При применении ШПС с последовательностью Баркера каждому каналу предоставляется от 22 МГц до 44 МГц, которое обеспечивает предположение того, что $P_c/P_u \approx 1$ [2, 3].

Таким образом, каждое направление (в дальнейшем дадим ему определения линия связи (ЛС)) может иметь до 10 каналов, способных поддерживать скорость передачи от $V \geq 2$ Мбит/с до $V \geq 10$ Мбит/с. С другой стороны, все антенны, функционируя в едином радиоспектре, подвергаются характерным для него нарушениям связи, что требует затрат времени на передачу с восстановлением связи (в т.ч. и на реконфигурацию).

3. Математическая модель анализа процессов реконфигурации

Как вышеуказывалось, реконфигурация вызвана падением скорости передачи, для восстановления которой требуется расширение полосы частот (увеличение числа каналов в ЛС). Наиболее приемлемой моделью может быть модель сети массового обслуживания.

В трактовке Кендала [16, 20] открытая сеть типа $|M_1|M_2|m|^R$, характеризуется следующими параметрами:

- экспоненциальными законами поступления требований M_1 , их передачи (обслуживания) M_2 , числом каналов m в каждом УК;
- числом УК R , при условии, что объем памяти не ограничен, $r = \infty$;
- производительность УК с ЛС, имеющей m каналов с μ – интенсивностью передачи пакетов каждого канала при λ – интенсивности поступления потоков.

Эта модель известна как система СеМО Д. Джексона [7, 20], которая была им исследована при условии, что для всех УК ($i = \overline{1, R}$) выполняется условие $\rho_i = \frac{Q_i}{\mu_i m}$, где Q_i - общий поток поступающих в УК

пакетов (внешних V_i и сетевых ретрансляторов ξ_i , т.е.. $Q_i = V_i + \xi_i$). Эти ограничения не позволяют использовать модель Д. Джексона для практических целей. Поэтому была выполнена ее модификация, а именно: введение фиктивного узла потерь пакетов $P_{отк}$ [17]; введение итерационной процедуры вычисления сетевых потоков ξ_i [18].

В результате получена модель, у которой были сняты вышеприведенные ограничения: $\rho_i \leq 1$ и $r = \infty$.

Уравнения баланса в этом случае приняли вид [17, 18]:

$$Q_i + \sum_{j=1}^{n_{ex}} P_{ji} Q_i = P_{i1} Q_i + P_{i2} Q_2 + P_{отк} Q_i, \quad (2)$$

где P_{ji} – вероятности ветвления потока из j -го УК $_i$ в УК $_i(P_i)$, в УК $_2(P_{i2})$ и в фиксируемый узел $P_{отк}$.

$$P_{отк_i} = \frac{\rho_i^{r_{i1}+r_i+r_{i2}}}{\rho_i^{r_{i1}} \rho_i!} \left[\sum_{k=0}^{r_{i1}+r_{i2}} \frac{\rho_i^k}{k!} + \frac{\rho_i^{r_{i1}+r_{i2}}}{(r_{i1}+r_{i2})!} * \sum_{s=1}^{r_{i1}+r_{i2}} \left(\frac{\rho_i}{r_{i1}+r_{i2}} \right)^s \right], \quad (3)$$

$$P_{i1} = 1 - \frac{\rho_{i1}^{r_{i1}}}{r_{i1}!} \left[\sum_{k=0}^{r_{i1}+r_{i2}} \frac{\rho_i^k}{k!} \right]^{-1}, P_{i2} = 1 - P_{i1} - P_{отк_1}; \rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu_{ij}} \text{ при } \mu_{ij} = \mu_{i2}$$

$$\rho_{i1} = \frac{\lambda_{i1}}{\mu_{i1}}; \rho_{i2} = \frac{\lambda_{i2}}{\mu_{i2}} \text{ и } \mu_{i1} = \mu_i m_{i1}, \mu_{i2} = \mu_i m_{i2}, \mu_{ij} = \mu_i (m_{i1} + m_{i2}), m_{ij} - \text{число каналов ЛС.}$$

Среднее время доставки ММТ T_{o_i} из i -го УК в УК, являющимся центром видеоконференцсвязи (ЦВКС):

$$T_{o_i} = \sum_{l=1}^L \left(\sum_{ij \in l} T_{o_{ij}} \right) P_i, \quad (4)$$

где l_{ij} – ЛС по l -му маршруту ($l = \overline{1, L}$); P_i – вероятность передачи по l -ому маршруту; T_{dij} – среднее время передачи по ЛС $_{ij}$ ($T_{dij} = T_{ож_i} + T_{пер_{ij}}$).

4. Пример количественного анализа эффективности реконфигурации топологии сети

Пусть исходными предпосылками для примера будет: ячеистая топология (рис. 2, б), которая реконфигурируется, с целью повышения пропускной способности для обеспечения ММТ для ВКС с центром в УК1 (ЦУК). В основу подсистемы реконфигурации положен вычислительный алгоритм реконфигурации (ВАР), который по данным мониторинга о скоростях передачи ММТ от каждого УК к ЦУК и требованиям ВКС ($V \geq V_{mp}$) определяет каким ЛС (рис. 2, б) необходимо расширение полосы (увеличение числа каналов).

На рис. 4 показана схема ВАР. Алгоритм состоит из двух частей: расчетной, что используется для определения параметров топологии по априорным данным (блоки 1 – 19) и эксплуатационной, которая использует апостериорные данные мониторинга для коррекции (реконфигурации) топологии непосредственно в процессе эксплуатации сети (блоки 2, 6 – 18, 20 – 23). В блоках 1, 2 формируются начальные данные V_i по всем УК и первичные данные.

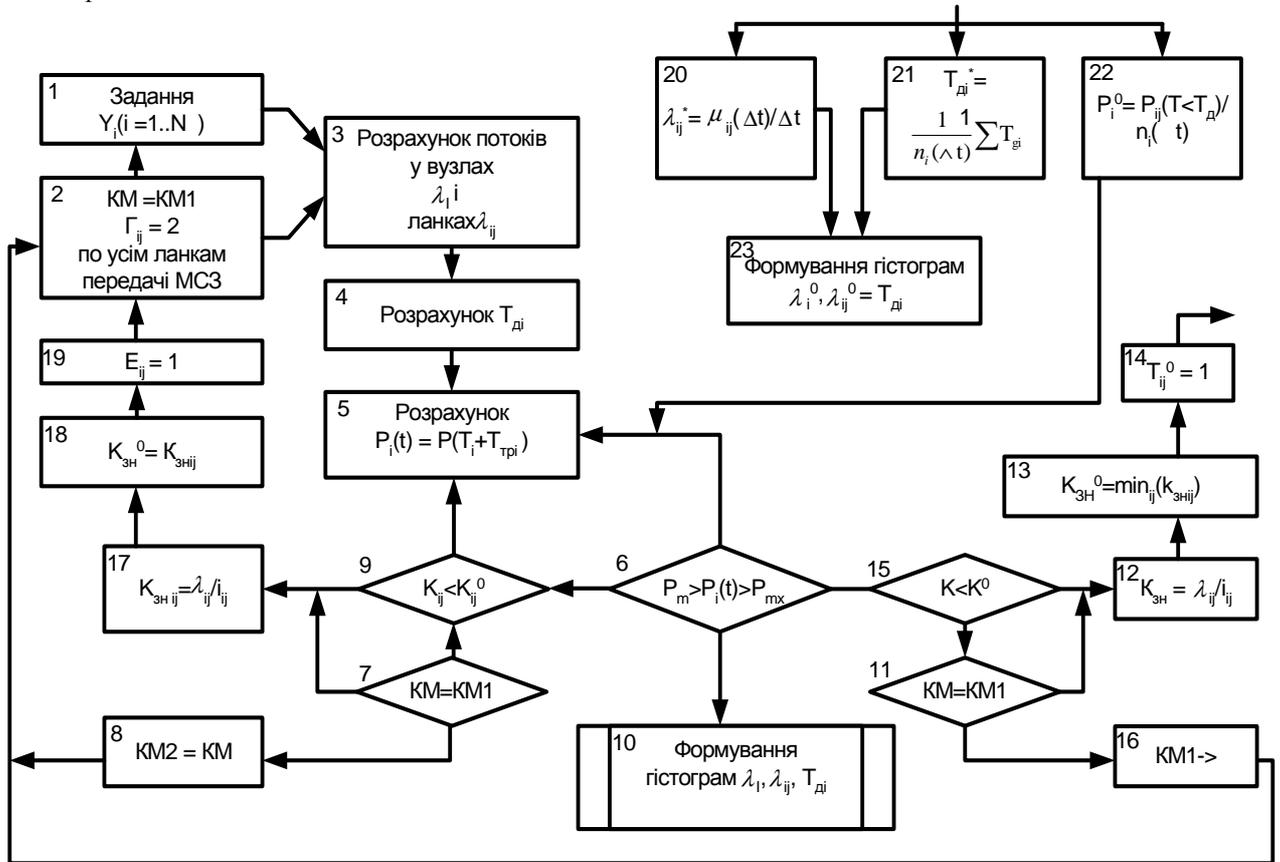


Рис. 4. Блок схема вычислительного алгоритма реконфигурации

В блоке 3 рассчитываются потоки в узлах, в блоке 4 – средние времена доставки, в блоке 5 – текущие значения своевременности доставки.

В блоке 6 осуществляется контроль своевременности доставки. Если она не обеспечивается (своевременность $P_i(t) < P_{тр}$), то с учетом коэффициента значимости $K_{знij}$ с помощью блоков 1–10 осуществляется селективное увеличение каналов ВЛС ($E_{ij}+1$) и наоборот, при $P_i(t) > P_{мх}$ с помощью блоков 11–14 – уменьшение ($E_{ij}-1$). Блоки 15–18 осуществляют коррекцию реконфигурации за счет перехода от протоколов прямой передачи на протоколы ветвления (блоки 15, 16) и ПВ2 на ПП1 (блоки 17, 18). Как вытекает из схемы, сначала всегда корректируется режим маршрутизации (РМ), а потом, если не достигаются уровни заданной своевременности, корректируется полоса пропускания за счет изменения канальных емкостей ЛС. Полной реконфигурации топологии отвечает случай коррекции маршрутизации и расширение полос.

Дополнительные блоки 20–23 формируют усредненные характеристики $\lambda_i', \lambda_{ij}', T_{di}', P_i'(t)$ по текущим данным мониторинга.

Формирования гистограмм средних времен доставки T_{di} , T_{di}' осуществляется блоками 19 по априорным и 23 по апостериорным данным.

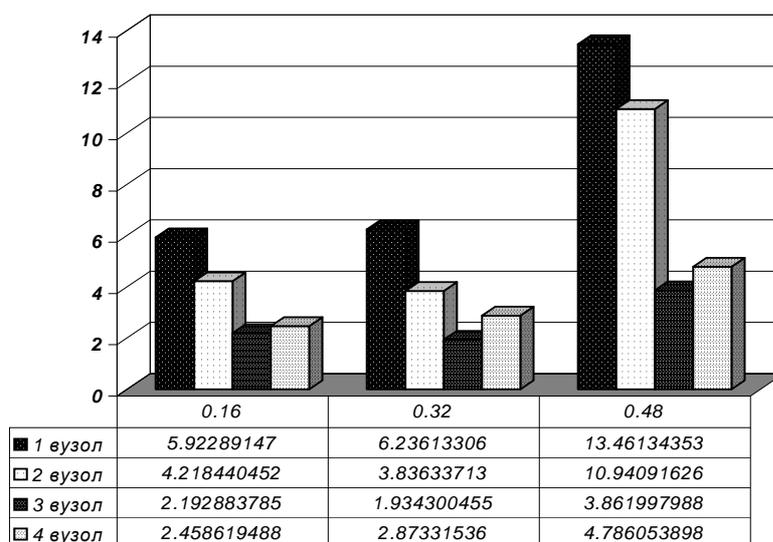


Рис. 5. Гистограмма средних времен доставки до реконфигурации топологии

На рис. 5 и рис. 6 показаны гистограммы времен доставки из каждого УК к центру (ЦУК) для заданных значений потока ММТ: 0.16, 0.32, 0.48: рис. 5 до реконфигурации и рис.6 после.

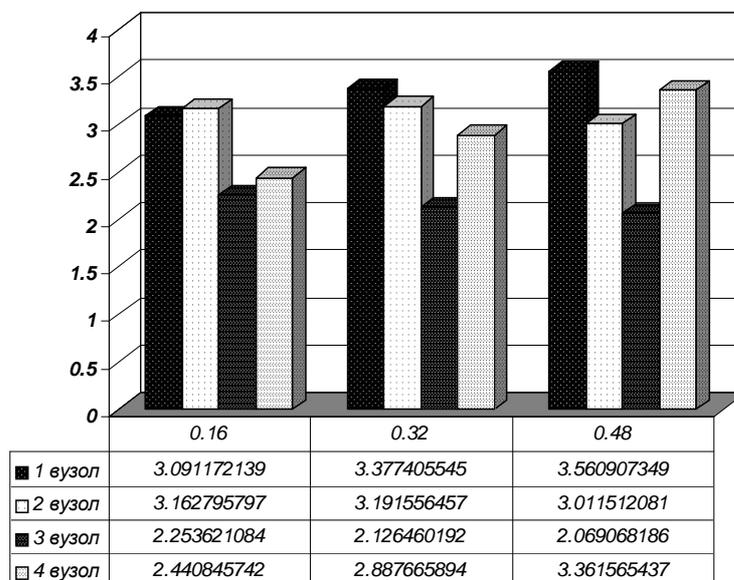


Рис. 6. Гистограмма средних времен доставки после реконфигурации

Из рисунков видно, что после реконфигурации топологии сети, времена доставки ММТ уменьшились и стали меньше зависеть от величин потоков ММТ поступающих от каждого УК.

Заключение

Существенное усложнение процессов функционирования широкополосных беспроводных сетей связи требует создания интеллектуальных технологий (ИТ), их проектирования и разработки [5, 19]. Показано, что существующие языки программной среды спецификации требований, лежащей в основе проектирования, не удовлетворяют требованиям ИТ. Результаты приведенного примера модификации базового языка спецификаций (SDL), за счет введения в него средств количественного анализа эффективности принимаемых решений (SMDL), подтверждают целесообразность его практического применения.

1. *Research Networking in Europe*. European Commission, 2001. – 42 p.
2. *Schiller S. Mobile communications* // Addison Wesley, 2000. – 395 p.
3. *Горбунов И.Э.* Методология анализа и синтеза реконфигурируемых топологий мобильных сетей связи // Математические машины и систем, 2006 – №2. – С. 45 – 56.
4. *Биляк В.И.* Методология введения количественного анализа в язык описаний и спецификаций требований к алгоритмам протоколов интеллектуальных сетей // Проблемы программирования, 2005. – № 3/4. – С. 58 – 69.

5. *Ластовченко М.М., Биляк В.И.* Проблемы создания инструментально- технологических систем проектирования АПС интеллектуальных сетей // Проблемы программирования, 2004 – № 2/3. – С. 497 – 504.
6. *NERA: enabling a wireless future* // Bergen Nera AS. – 65 p.
7. *Ластовченко М.М.* Автоматизированные комплексы моделирования и расчета сетей связи. – Киев: Знание, 1981. – 26 с.
8. *ITU-T. Rec.Z-100. Specification and Description Language (SDL).* – 2002. – 197 p.
9. *ITU-T. Rec Z-120. Message Sequence Charts (MSC).* – 1999. – 56 p.
10. *Голдштейн Б.С.* Сигнализация в сетях связи. Том 1 // Радио и связь. – 1998. – 425 с.
11. *Гома Н.* UML: проектирование систем реального времени // М.: ДМК. – 2002. – 1002 с.
12. *Бурлаков М.В.* Ситуационное управление в системах массового обслуживания // Киев: Наук. думка, 1991. – 160 с.
13. *Барздинь Я.М., Кальниньт А.А., Строче Ю.Ф., Сыцко В.А.* Язык спецификаций SLD/Plus и методы использования // Рига: ЛГУ им. П.Стучки. – 1986. – 296 с.
14. *Ионин Г.Л., Седол Я.Я.* Статистическое моделирование сситем телефонии // М.: Радио и связь, 1982. – 182 с.
15. *Ионин Г.Л., Седов Я.Я, Супе В.В.* Язык моделирования ПАЛМ // Рига: ЛГУ им. П. Стучки. – 1982. – 107 с.
16. *Ластовченко М.М., Губенко А.Е, Черноусов В.А.* Интегральная система проектирования АПС коммутационных средств связи // Киев: Знание, 1990. – 32 с.
17. *Ластовченко М.М.* Введение реконфигурируемых средств передачи данных в АСУ интегрируемыми сетями связи // Техника связи. 1984. – № 1. – С 59 – 68.
18. *Ластовченко М.М., Русецкий В.Е., Ярошенко В.Р.* Системный анализ эффективности функционирования ШТП интеллектуальных сетей // Математические машины и системы. – 2006. – № 2. – С. 36 – 44.
19. *Ластовченко М.М., Макаренко М.Н., Марущак В.И.* Интеллектуализация программных средств описания и спецификаций телекоммуникационных систем и процессов их функционирования // Проблемы программирования, 2006. - № 2. – С. 68 – 79.
20. *Анисимов В.В., Лебедев Е.А.* Стохастические сети обслуживания. Марковские модели. – Киев: Либідь, 1992. – 206 с.