

18. Yakushin A.Yu., Mukovozov A.M., Ismoilov M.I. Sravnitel'nyy analiz relyatsionnoy bazy dannykh i dokumentoorientirovannoy NoSQL bazy dannykh v razreze ikh primeneniya pri sozdanii lokal'nogo chata/messendzhera [Comparative analysis of a relational database and a document-oriented NoSQL database in terms of their use in creating a local chat/messenger], *Innovatsionnaya nauka* [Innovative science], 2018, No. 4, pp. 73-82.
19. DB-Engines Ranking of Key-value Stores. Available at: <https://db-engines.com/en/ranking/key-value+store> (accessed 12 May 2020).
20. Sobol' A.S. Postroenie i adaptatsiya NewSQL SUBD v chastnom «Oblake» [Building and adapting a NewSQL DBMS in a private "Cloud"], *Sibirskiy zhurnal nauki i tekhnologii* [Siberian journal of science and technology], 2013, No. 4 (50), pp. 75-80.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н. А.С. Бугаев.

Гридин Владимир Николаевич – ФГБУН Центр информационных технологий в проектировании РАН; e-mail: info@ditc.ras.ru; 143003, Одинцово, ул. маршала Бирюзова, 7а; тел.: +74955960219; д.т.н.; профессор; научный руководитель.

Анисимов Владимир Иванович – Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет; e-mail: vianisimov@inbox.ru; 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5; тел.: +78122343675; д.т.н.; профессор; г.н.с.

Васильев Сергей Алексеевич – e-mail: venom-gt@list.ru; к.т.н.; ассистент.

Gridin Vladimir Nikolayevich – Design Information Technology Center RAS (DITC RAS); e-mail: info@ditc.ras.ru; 7a, Marshal Biryuzov street, Odintsovo, 143003, Russia; phone: +74955960219; dr. of eng. sc.; professor; scientific director.

Anisimov Vladimir Ivanovic – Saint Petersburg State Electrotechnical University; e-mail: vianisimov@inbox.ru; 5, Prof. Popov street, Saint Petersburg, 197376, Russia; phone: +78122343675; dr. of eng. sc.; professor; chief researcher.

Vasilev Sergey Alexievich – e-mail: venom-gt@list.ru; assistant.

УДК 004.051

DOI 10.18522/2311-3103-2020-2-200-209

Д.Е. Чикрин, А.А. Егорчев, Д.В. Ермаков

МЕТОДОЛОГИЯ S.M.A.R.T.E.S.T. Н-GQM ДЛЯ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ЭВОЛЮЦИИ СИСТЕМ ADAS

Вывод на массовый рынок транспортных средств (легковых и грузовых автомобилей) с высокой степенью автоматизации – уровня ADAS 3+ – ожидается с начала 2020-х годов. На текущий момент абсолютным большинством крупных автопроизводителей ведутся исследования и разработки в данном направлении, достаточно большое количество прототипов, предсерийных и серийных систем¹ уже продемонстрировано. Системы автоматизированного управления автомобилем – ADAS (advanced driver assistance systems) – представляют собой сложные аппаратно-программные комплексы, особенность которых состоит в неизменности ядра аппаратной платформы на протяжении одного или нескольких поколений автомобилей. При этом требуется обеспечить возможность обновления (эволюции) системы для исправления ошибок и расширения функциональности, особенно в условиях активно развивающихся сенсорных периферийных систем и программных алгоритмов. Для оценки и сопровождения разработки сложных систем применяется методология GQM (Goal, Question, Metric – цель, вопрос, метрика) и её модификации. Однако, область их применения ограничена исключительно программными продуктами; также не рассматриваются явно вопросы применения методологии GQM для анализа и сопровождения процессов эволюции сложных технических систем. В статье предлагается методоло-

¹ Tesla, Audi, Volvo, Komatsu и другие производители.

гия *H-GQM* (*Hardware GQM*) для проведения контролируемой эволюции сложных аппаратно-программных систем современной автомобильной техники. Представленная методология *H-GQM* базируется на методологии *GQM* и предназначена для аппаратно-программных комплексов с монолитным аппаратным ядром, модифицируемым программным ядром и периферией, удовлетворяющей принципу атомарности. Доказана применимость методологии *GQM* для анализа программно-аппаратных систем ADAS путем проведения процедуры гармонизации сущностей системы. Для формирования эволюционных целей предложена концепция целеполагания *S.M.A.R.T.E.S.T.*, расширяющая методику формирования целей бизнес-процессов *S.M.A.R.T.* путем введения ограничений, полученных в результате гармонизации сущностей и описывающих требования к эволюционной способности системы. Формулирование фреймворка планов *H-GQM* рассматривается на примере систем ADAS, в рамках предложенной методологии сформирован масштабируемый шаблон целей, учитывающий специфику систем ADAS.

GQM; цель-вопрос-метрика; *S.M.A.R.T.*; ADAS; контролируемая эволюция технических систем; разработка сложных технических систем; аппаратно-программные системы.

D.E. Chickrin, A.A. Egorchev, D.V. Ermakov

EVOLVABLE ADAS: H-GQM S.M.A.R.T.E.S.T. APPROACH

The introduction to the mass market of vehicles with an ADAS 3+ level of automation is expected in the early 2020s. Currently, the vast majority of automakers conduct research in this field, a fairly large number of prototypes, pre-production and production systems have already been demonstrated. ADAS (advanced driver assistance systems) are complex hardware & software systems, the feature of which is that the core hardware platform remains unchanged for one or even several generations of vehicles (5–7 years). At the same time, the system should be able to transform and evolve to correct errors and expand functionality, especially due to active development of sensory peripheral systems and software algorithms. The GQM methodology and its modifications are used to support the development process of complex systems and evaluate them. However, these methodologies are limited exclusively to software products. Also, authors of these methodologies are not addressing explicitly the issues of applying the GQM methodology for analyzing and tracking the process of evolution of complex technical systems. This paper presents H-GQM (Hardware GQM) methodology for controllable evolution of complex automotive hardware & software systems. The H-GQM methodology is based on GQM and is aimed at hardware-software systems with a monolithic hardware core, a modifiable software core and atomic peripherals. Entity harmonization process is described to prove the applicability of the GQM for software-and-hardware systems analysis. S.M.A.R.T.E.S.T goal-setting concept is proposed for choice of evolutionary goals. This concept is based on S.M.A.R.T. criteria for the setting objectives of business processes and extended with harmonization and evolvability restrictions. The formulation of the H-GQM plan framework is provided using ADAS as an example. Within the framework of the proposed methodology, an ADAS-specific scalable target template has been formed.

GQM; S.M.A.R.T.; ADAS; controllable evolution of complex technical systems; complex technical systems development; software and hardware systems.

I. Введение. Все существующие и перспективные системы ADAS для массового автомобильного рынка имеют ту же специфику, что и любые другие сложные аппаратно-программные системы автомобильной техники [1, 2]. Указанная специфика заключается в аппаратной неизменности (**монолитности**) на протяжении одного или нескольких поколений (в горизонте 5–7 лет) центральной вертикально-интегрированной² платформы, максимально широко используемой автопроизводителем. В случае систем ADAS такого рода платформой является вычислительный блок – аппаратное ядро ADAS.

² Вертикальная интеграция – объединение в единой сущности блоков и подсистем различных уровней абстракции (операционной деятельности).

Задачи расширения функционала и исправления ошибок решаются за счет первоначальной избыточности возможностей и производительности монолитного аппаратного ядра путем:

1. Модификации программного ядра – «прошивки» вычислительного блока ADAS. Данное программное ядро относится к т. н. программно-интенсивным системам с критическим уровнем надежности (software intensive safety critical systems [3]).

2. Широкой варьированности характеристик и номенклатуры различных устройств и подсистем, представляющих собой горизонтально-интегрированную периферию³ платформы ADAS.

Требования по наличию нескольких взаимозаменяемых поставщиков на каждый тип устройства из периферии при работе с монолитным аппаратным ядром приводят также к:

1. Необходимости максимальной унификации устройств с периферии ADAS с точки зрения интерфейсов взаимодействия и подключения.

2. Функционированию каждого элемента из периферии ADAS по атомарному принципу – в виде «черного ящика» – для обеспечения заданных характеристик с максимальным абстрагированием от внутреннего устройства и образа функционирования изделия.

Смешанная методология оценки и сопровождения эволюционирующих аппаратно-программных систем H-GQM⁴, основывающаяся на методологии GQM [4, 5] и предлагается в указанной статье.

II. Эволюционирующие системы ADAS и методология H-GQM. Для фиксированного состава периферии и монолитного аппаратного ядра задачи внесения контролируемых изменений и дополнений в функционал различных подсистем ADAS могут быть проанализированы с помощью GQM, как программно-интенсивная система с критическим уровнем надежности [6]. В то же время процессы эволюции требований к системам ADAS⁵ в рамках одной и той же монолитной аппаратной платформы приводят к необходимости экстенсивного развития периферии.

Сам процесс изменения контролируемых изменений и дополнений одновременно в функционал программного ядра ADAS и состав периферии и представляет собой **процесс эволюции ADAS** между основными ревизиями основной вычислительной платформы – между сменами архитектуры и состава монолитного аппаратного ядра.

Таким образом, эволюционирующая система ADAS представляет собой совокупность фиксированного монолитного аппаратного ядра (вычислительной платформы ADAS); изменяемого программного ядра ADAS – программно-интенсивной системы с критическим уровнем надежности, и периферию с изменяемой номенклатурой и конфигурацией (в пределах определенных граничных условий) с атомарными блоками, подключаемыми по стандартным интерфейсам.

Оригинальная методология GQM представляет собой смешанную методологию оценки и сопровождения разработки программного обеспечения, использующую механизмы «сверху-вниз» с определением исходной цели исследуемого продукта и/или процесса как первоначального этапа проектирования и механизмы «снизу-вверх» для интерпретации анализируемой информации с точки зрения ранее определенного набора вопросов и метрик [4, 7]. Существует значительное ко-

³ Горизонтальная интеграция – объединение в единой сущности блоков и подсистем одного уровня абстракции (операционной деятельности).

⁴ H-GQM - Hardware GQM – предлагаемая методология GQM-типа, используемая для аппаратно-программных систем эволюционирующего типа.

⁵ Например, в процессе формирования различной конфигурации опций автопилотирования или обновления семейств автомобильной техники

личество модификаций и адаптаций методологии GQM для различных видов сложных – но только программных – систем [3, 6–10]. Также в литературе явно не рассматриваются вопросы применения методологии GQM для анализа и сопровождения именно процессов эволюции сложных технических систем.

Предлагаемая нами методология H-GQM представляет собой методологию GQM, адаптированную и расширенную для использования в случае аппаратно-программных систем с изменяемым программным ядром, монолитным аппаратным ядром и атомарной периферией.

III. Гармонизация сущностей исследования H-GQM. Как было указано ранее, рассматриваемые эволюционирующие системы ADAS представляют собой аппаратно-программную систему – совокупность модифицируемого программного ядра, монолитного аппаратного ядра (на котором выполняется программное ядро) и атомарной периферии.

Как было показано в [3], методология GQM полностью применима для систем, к классу которых принадлежит модифицируемое программное ядро ADAS – программно-интенсивным системам с критическим уровнем надежности. Для обеспечения правомерности применения методологии GQM (т.е. формирования предлагаемой методологии H-GQM) необходимо:

1. Провести гармонизацию⁶ сущностей монолитного аппаратного ядра и атомарной периферии с классом программно-интенсивных систем критического уровня надежности.
2. Определить ограничения изучения гармонизируемых систем с учетом проведенных процедур гармонизации.

Обобщенная процедура гармонизации

По определению [3, 11], программно-интенсивными называются программные системы, взаимодействующие с совокупностью других систем, устройств и системных операторов. В свою очередь, системами критического уровня надежности⁷ называются системы, результат работы которых может прямо или косвенно определять безопасность жизни и здоровья человека-оператора [3]. Достаточно очевидным является вхождение систем ADAS в оба класса данных систем.

Задача гармонизации сущностей атомарной периферии и монолитного аппаратного ядра⁸ сводится к тому, чтобы они либо были также отнесены к классу программно-интенсивных систем критического уровня надежности, независимых от программного ядра – либо являлись частью единой программно-интенсивной системы критического уровня надежности на равных правах с остальными.

Последствия первого способа обеспечения гармонизации – необходимость создания многокомпонентной (векторной) цели, последствия второго – возможность GQM-анализа гармонизируемых сущностей лишь на том уровне абстракции (страте представления) [12], на котором было показано их вхождение в состав единой анализируемой системы. Гармонизация по второму принципу является более приемлемой, т. к. многокомпонентность цели противоречит принципу однозначности концепции S.M.A.R.T.

Гармонизация монолитного аппаратного ядра

Рассмотрим стратегию представления монолитного аппаратного ядра в виде вычислительной платформы, на которой запускается программный код модифицируемого программного ядра. В этом случае монолитное аппаратное ядро А является неотъемлемой частью программно-интенсивной системы критического уровня

⁶ Показать включение данных сущностей в анализируемый класс систем.

⁷ В оригинале - safety-critical computer systems.

⁸ По отношению к модифицируемому программному ядру, уже могущему быть проанализированным по методологии GQM.

надежности – программного ядра S – т.к. данная система не существует сама по себе, независимо от вычислительной платформы. Проведенная гармонизация накладывает ограничения, связанные с необходимостью обязательного учета интегральной аппаратной специфики вычислительной платформы A – производительность платформы, перечень имеющихся интерфейсов, доступность средств программной отладки, перечень допустимых языков программирования, условия эксплуатации – и невозможностью учета ее аппаратно-неспецифичных аспектов (например, возможностей отдельных элементов аппаратного ядра).

Гармонизация атомарной периферии

Рассмотрим стратегию представления атомарной периферии в виде системы высокой степени аддитивности, состоящей из элементов – черных ящиков, обеспечивающих прием и передачу стандартизованных информационных потоков и имеющих векторные управляющие воздействия стандартизованного типа. Данная система высокой степени аддитивности является идентичной совокупности аппаратно-неспецифичных⁹ программных функций F , имеющих фиксированные типы выходных данных *output*, входных данных *input* и управляющих переменных $x_1 \dots x_n$:

$$output = F(input, x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Модифицируемое программное ядро, выполняемое на монолитной вычислительной платформе, может быть рассмотрено в эквивалентной стратеии – как совокупность программных функций FS . Таким образом, итоговая совокупность модифицируемого программного ядра, и атомарной периферии может быть представлена в виде программно-интенсивной системы критического уровня надежности с расширенным набором функций – $F + FS$ – и имеющей аппаратную специфичность A . Дополнительные условия, накладываемые данной гармонизацией (с учетом предыдущей) – необходимость рассмотрения чистого логического функционала периферии с общей аппаратной спецификой, определяемой аппаратной спецификой и сценариями применения аппаратного ядра¹⁰.

IV. S.M.A.R.T.E.S.T. - концепция формализация целей H-GQM. Наиболее важным – т. н. концептуальным [4] – этапом формирования планов и фреймворков планов GQM является этап формирования целей. Цели GQM формируются из [5, 7]:

- ◆ Объекта целеполагания (object) – то, что изучается методологией GQM – какой продукт или процесс.
- ◆ Назначения исследования (purpose) – для чего проводится GQM-анализ – для целей лучшего понимания свойств объекта, для его сравнения с аналогами, для определения его эффективности и пр.
- ◆ Акцента исследования (quality focus) – какое конкретно свойство (совокупность свойств) объекта должны рассматриваться – например, цена, надежность и пр.
- ◆ Аспекта рассмотрения (viewpoint) – с чьей точки зрения должны быть получены ответы на вопросы исследования, кто будет интерпретировать результаты исследования.
- ◆ Контекста рассмотрения – окружающей среды для объекта целеполагания (environment) – в каких условиях рассматривается объект целеполагания и какие внешние факторы являются существенными для процесса исследований.

⁹ В связи с представлением отдельных блоков периферии в виде черных ящиков.

¹⁰ Т. е. в процессе H-GQM-анализа вследствие проведенного процесса гармонизации могут должны быть определены общие эксплуатационные и физические ограничения для аппаратного ядра и атомарной периферии.

Принципиальной особенностью целей для GQM-подобных методик применительно к промышленным системам любого типа является требование по их однозначной и понятной интерпретации и легкой измеримости [13]. В случае нарушения данного требования применение методологии для оценки и сопровождения развития реальных систем становится невозможным в связи с противоречивостью получаемых результатов [7, 8]. Для корректного формирования целей, удовлетворяющих данным требованиям, авторами предлагается расширение методики формирования целей бизнес-процессов S.M.A.R.T. [13-15]:

- ◆ S. – Specific – Однозначность формулировки того, что должно быть достигнуто в процессе исследований.
 - ◆ M. – Measurable – Может ли цель быть объективно и понятно измеренной.
 - ◆ A. – Attainable – Может ли цель реально быть достигнута.
 - ◆ R. – Realistic – Будет ли реально проводиться работа по достижению цели, целесообразно ли ее достижение.
 - ◆ T. – Timely – приемлемо ли время, в которое может быть достигнута цель.
- Расширение концепции S.M.A.R.T. до S.M.A.R.T.E.S.T. обеспечивается за счет введения ограничений, полученных в результате гармонизации сущностей и анализа в процессе эволюции:
- E. – Evolvable – система рассматривается в процессе эволюции.
 - S. – Set of functions – программное обеспечение системы рассматривается с функциональной точки зрения: как ансамбль программных функций F, имеющих фиксированные типы выходных данных output, входных данных input и управляющих переменных $x_1 \dots x_n$:

$$output = F(input, x_1, x_2, \dots, x_n)$$

T. – Tolerance limits – рассматриваемая система должна рассматриваться в пределах тех физических и эксплуатационных ограничений, которые являются общими для монолитного аппаратного ядра и атомарной периферии.

V. Шаблон формирования целей H-GQM для ADAS. На базе сформулированной концепции S.M.A.R.T.E.S.T. и специфики систем ADAS [1, 2] в табл. 1 построен масштабируемый шаблон целей H-GQM с примерами основных целевых компонент:

Таблица 1

Масштабируемый шаблон целей H-GQM

S.M.A.R.T.E.S.T.	Object	Purpose	Quality Focus	Viewpoint	Environment
Шаблоны целевых компонент	Система ADAS Подсистемы ADAS, удовлетворяющие концепции H-GQM: подсистемы SLAM, V2X, Powertrain control, Autopilot, HMI и т. д.	Для сравнения в пределах эволюционного цикла (между ревизиями аппаратного ядра ADAS): 1. Стоимость 2. Надежности 3. Технологичности 4. Эффективности и т. д.	Что конкретно сравнивается в рамках purpose: 1. Если стоимость - то себестоимость, добавляемая ценность, ориентировочная выручка за опции и т. д. 2. Если эффективность - то вероятность принятия корректного решения, объем множества альтернатив решения, задержка принятия решения и т.д.	С чьей точки зрения: 1. Инженера-разработчика 2. Инженера-испытателя 3. Продавца 4. Покупателя 5. Оператора системы (водителя) и т. д.	В рамках чего рассматривается эволюция системы: Времени жизни платформы. Проекта по модернизации платформы Проекта по оптимизации производства Долгосрочного плана продаж и т. д.

S.M.A.R.T.E.S.T.	Object	Purpose	Quality Focus	Viewpoint	Environment
S - Specific	Должны быть однозначно определены - функционалом, структурой и спецификацией.	Должен быть выбран единственный показатель.	Должен быть выбран единственный показатель.	Должна быть выбрана единственная точка зрения.	Должен быть однозначно определен контекст и граничные условия среды (контекста) рассмотрения.
M - Measurable	Не применяется.	Показатель должен быть измеримым.	Показатель должен быть измеримым.	Не применяется.	Не применяется.
A - Attainable	Система должна содержать в себе все критически важные элементы для обеспечения функционирования.	Показатель должен реально использоваться и регулярно вычисляться.	Показатель должен реально использоваться и регулярно вычисляться.	Цель исследования должна быть актуальна для целевой аудитории.	Цель исследования должна быть актуальна в рамках контекста рассмотрения.
R - Realistic	В структуру системы должны входить только элементы с полным описанием и присутствующие на рынке.			Представители целевой аудитории должны участвовать в формировании плана H-GQM.	Контекст и граничные условия среды должны быть реалистичными.
T - Timely	Должны быть определены точные временные границы эволюционного процесса.	Должны быть определены точные временные границы исследований и получения результатов.		Цели и задачи целевой аудитории (применительно к исследованию) должны оставаться в большей части постоянными.	Временные границы эволюционного процесса должны соответствовать дорожной карте контекста рассмотрения.
E - Evolvable	Аппаратное ядро системы (включая интерфейсы) должно быть неизменно, изменяться могут лишь программное ядро, состав и спецификации периферии	Должен быть определен конкретный изменяемый параметр, например: Стоимость компонент. Трудоемкость производства. Качество распознавания. Дальность связи. Точность навигации и т. д.	Параметр должен быть конкретизирован, например: Стоимость компонент в партии от 1000 шт. Процент распознавания объектов в ночное время суток. Точность навигации в благоприятных климатических условиях и т. д.	Purpose должен иметь значение для целевой аудитории (например, изменение перечня опций и характеристик оборудования)	Purpose должен иметь значение в рамках контекста рассмотрения.
S - Set of functions	Функционал системы должен быть описан в виде списка функций (например - ACC, ABS, CDW и т. д.)	Измеряемому параметру должно соответствовать подмножество списка функций.		Исследуемое подмножество списка функций должно быть известно и иметь значение для целевой аудитории (например - перечень опций и возможности оборудования)	Исследуемое подмножество списка функций должно рассматриваться в рамках контекста рассмотрения (например - перечень опций и возможности максимальной комплектации)
T - Tolerance limits	Должны быть определены сценарии эксплуатации исследуемой системы (легковые автомобили, грузовая техника, карьерная техника и т.д.)	Должны быть определены унифицированные характеристики сценариев эксплуатации, имеющие значение в рамках рассматриваемой цели (климатические требования, ресурсные требования, энергопотребление и т. д.)	Должны быть детализированы унифицированные характеристики (температура от -30 до 55 гр. С; нагрузка на отказ 10000 моточасов и пр.)	Определенные детализированные унифицированные характеристики должны иметь значение для целевой аудитории и быть с ней согласованы.	Определенные детализированные унифицированные характеристики должны иметь значение в рамках контекста рассмотрения.

VI. Рекомендации по формированию ансамблей вопросов и метрик H-GQM. Для формирования ансамблей вопросов после формирования цели H-GQM авторами предлагается использование двух способов, рассмотренных ранее в литературе:

1. Использование т. н. листа абстракций GQM [7, 16], позволяющего сформировать вопросы путем опроса эксперта и целевой группы, определяемой аспектом рассмотрения.

2. Использование диаграммы онтологий анализируемой проблемы – POD¹¹ [17], обеспечивающую формирование полного множества вопросов по полностью сформированной цели GQM.

Выбор метрик по сформированным вопросам определяется из существующих обзоров и каталогов¹² в соответствии с экспертными оценками эффективности их сбора и репрезентативности.

Заключение. В представленной статье нами был представлен адаптированный к эволюционирующим аппаратно-программным системам и комплексам подход цель-вопрос-метрика – методология H-GQM. Для использования указанного подхода необходимо, чтобы аппаратное ядро системы в процессе эволюции было неизменно, а аппаратная периферия представлялась в виде «черных ящиков» со стандартизированными интерфейсами подключения. Ярким примером подобных систем являются системы автоматизированного управления автомобилями – системы ADAS, для которых и построен пример масштабируемого шаблона целей H-GQM, формализованный в таблице 1.

Центральным тезисом представленной методологии является разработка подхода формирования и верификации целей S.M.A.R.T.E.S.T., для формирования ансамблей вопросов и метрик предлагается использование листов абстракций GQM, диаграммы онтологий анализируемой проблемы и каталогов метрик по областям применения.

Дальнейшим направлением исследований в рамках серии публикаций планируется разработка и анализ полных планов H-GQM по отдельным подсистемам ADAS.

Благодарности. Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Jo K. et al.* Development of autonomous car–Part I: Distributed system architecture and development process // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2014. – Vol. 61, No. 12. – P. 7131-7140.
2. *Heinecke H.* Automotive system design-challenges and potential // Design, Automation and Test in Europe. – IEEE, 2005. – P. 656-657.
3. *Jayasri K., Seetharamaiah P.* A GQM Based Approach towards the Development of Metrics for Software Safety // Journal of Computer Science. – 2015. – Vol. 11, No. 6. – P. 813.
4. *Caldiera G, Basili V. R., Rombach H. D.* The goal question metric approach // Encyclopedia of software engineering. – 1994. – P. 528-532.
5. *Dow H.* Goal Question Metric (GQM) and Software Quality. – 2007.
6. *Olsson T., Runeson P.* V-GQM: A feed-back approach to validation of a GQM study // Proceedings Seventh International Software Metrics Symposium. – IEEE, 2001. – P. 236-245.
7. *Differding C., Hoisl B., Lott C. M.* Technology package for the goal question metric paradigm. – 1996.
8. *Lindstrom B.* A software measurement case study using GQM // J. Lund Univ., USA. – 2004.
9. *Basili V. et al.* GQM⁺ strategies--aligning business strategies with software measurement // First international symposium on empirical software engineering and measurement (ESEM 2007). – IEEE, 2007. – P. 488-490.

¹¹ POD - Problem Ontology Diagram.

¹² Например, приведенных в источниках [18-20].

10. Solingen, van R., Berghout E. W. The Goal/Question/Metric Method: a practical guide for quality improvement of software development. – McGraw-Hill, 1999.
11. Alberico D. et al. Software System Safety Handbook-A Technical Managerial Team Approach // Joint Services Computer Resources Management Group. – 1999.
12. Мако Д., Месарович М., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973.
13. Saar C., Safirstein M. Defining Goal-based Project Metrics. – Allstate Insurance Company, 2009.
14. TOWES Goal Planning Essentials. – Bow Valley College, 2015.
15. Doran G.T. There's a SMART way to write management's goals and objectives // Management review. – 1981. – Vol. 70, No. 11. – P. 35-36.
16. Solingen, van R. et al. Application of software measurement at Schlumberger RPS: Towards enhancing GQM // Proceedings of the 6th European Software Control and Metrics (ESCOM) Conference. – 1995. – P. 17-19.
17. Seidita V. et al. Simulation goals and metrics identification // 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS). – IEEE, 2016. – P. 1491-1494.
18. Babu P. C., Prasad A. N., Sudhakar D. Software Complexity Metrics: A Survey // International Journal. – 2013. – Vol. 3, No. 8.
19. Stephens R. Beginning software engineering. – John Wiley & Sons, 2015.
20. Cardoso J. Quality Metrics for Business Processes. – 2011.

REFERENCES

1. Jo K. et al. Development of autonomous car-Part I: Distributed system architecture and development process, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2014, Vol. 61, No. 12, pp. 7131-7140.
2. Heinecke H. Automotive system design-challenges and potential, *Design, Automation and Test in Europe*. IEEE, 2005, pp. 656-657.
3. Jayasri K., Seetharamaiah P. A GQM Based Approach towards the Development of Metrics for Software Safety, *Journal of Computer Science*, 2015, Vol. 11, No. 6, pp. 813.
4. Caldiera G, Basili V. R., Rombach H. D. The goal question metric approach, *Encyclopedia of software engineering*, 1994, pp. 528-532.
5. Dow H. Goal Question Metric (GQM) and Software Quality, 2007.
6. Olsson T., Runeson P. V-GQM: A feed-back approach to validation of a GQM study, *Proceedings Seventh International Software Metrics Symposium*. IEEE, 2001, pp. 236-245.
7. Differding C., Hoisl B., Lott C. M. Technology package for the goal question metric paradigm, 1996.
8. Lindstrom B. A software measurement case study using GQM, *J. Lund Univ., USA*, 2004.
9. Basili V. et al. GQM⁺ strategies-aligning business strategies with software measurement, *First international symposium on empirical software engineering and measurement (ESEM 2007)*. IEEE, 2007, pp. 488-490.
10. Solingen, van R., Berghout E. W. The Goal/Question/Metric Method: a practical guide for quality improvement of software development. McGraw-Hill, 1999.
11. Alberico D. et al. Software System Safety Handbook-A Technical Managerial Team Approach, *Joint Services Computer Resources Management Group*, 1999.
12. Mako D., Mesarovich M., Takahara I. Teoriya ierarkhicheskikh mnogourovnevnykh system [Theory of hierarchical multilevel systems]. Moscow: Mir, 1973.
13. Saar C., Safirstein M. Defining Goal-based Project Metrics. Allstate Insurance Company, 2009.
14. TOWES Goal Planning Essentials. Bow Valley College, 2015.
15. Doran G.T. There's a SMART way to write management's goals and objectives, *Management review*, 1981, Vol. 70, No. 11, pp. 35-36.
16. Solingen, van R. et al. Application of software measurement at Schlumberger RPS: Towards enhancing GQM, *Proceedings of the 6th European Software Control and Metrics (ESCOM) Conference*, 1995, pp. 17-19.
17. Seidita V. et al. Simulation goals and metrics identification, *2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*. IEEE, 2016, pp. 1491-1494.

18. Babu P. C., Prasad A. N., Sudhakar D. Software Complexity Metrics: A Survey, *International Journal*, 2013, Vol. 3, No. 8.
19. Stephens R. *Beginning software engineering*. John Wiley & Sons, 2015.
20. Cardoso J. *Quality Metrics for Business Processes*. 2011.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н. П.А. Кокунир.

Чикрин Дмитрий Евгеньевич – Казанский (Приволжский) федеральный университет; e-mail: dmitry.kfu@gmail.com; 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18; к.т.н.; доцент.

Егорчев Антон Александрович – e-mail: eanton090@gmail.com; научный сотрудник.

Ермаков Дмитрий Владимирович – e-mail: DVErmakov@kpfu.ru; аспирант.

Chickrin Dmitriy Evgen'evich – Kazan Federal University; e-mail: dmitry.kfu@gmail.com; 18, Kremlyovskaya street, Kazan, 420008, Russia; cand. of eng. sc.; associate professor.

Egorchev Anton Alexandrovich – e-mail: eanton090@gmail.com; researcher.

Ermakov Dmitriy Vladimirovich – e-mail: DVErmakov@kpfu.ru; postgraduate student.

УДК 654.02

DOI 10.18522/2311-3103-2020-2-209-218

А.И. Рыбаков, Р.Е. Кротов, С.А. Кокин

АДАПТАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК К ПОСТОЯННО ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ ПАРАМЕТРАМ ИОНОСФЕРНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Целью исследовательской работы явилось изучение и выбор существующих вариантов адаптации по параметрам передачи, для снижения влияния недостатков коротковолновой радиолонии, целесообразно максимально эффективно использовать методы цифровой обработки сигналов. По результатам характеристик аналогово-цифровых преобразователей (АЦП), стало исследования доступных аппаратных средств, для построения протяженных радиолоний, был сделан вывод о том, что с ростом производительности ПЛИС, на которых реализуется цифровая обработка сигналов и технических представляется возможной реализация технологии создания активной антенной решетки (ААР), состоящей из N-го количества независимых антенных модулей, что и является концептуальной задачей в решении вопроса адаптации информационно-технических характеристик к постоянно изменяющимся параметрам ионосферного прохождения, для более энергоэффективного подхода к проектированию системы ионосферной радиосвязи. Повышение производительности радиосистемы путём совершенствования протоколов связи, решение вопроса оптимального по загруженности канала от времени формирования и приема сигнала. Основная идея такой ААР состоит в оцифровке или генерации высокочастотного сигнала в непосредственной близости от антенны, в составе антенных модулей. Указанные результаты позволяют заменить отдельно настраиваемые радиоприемники и трансиверы, построенные по сложной супергетеродинной схеме, на ограниченное число доступных аппаратных блоков, работающих под управлением ПО модели программно-конфигурируемого радиоканала. В следующей работе планируется провести исследования по оценке прохождения сигналов OFDM через многолучевые каналы связи с замираниями Релея и Райса. Получаемая модель позволит оценить помехоустойчивость при различной длине циклического префикса OFDM символа и пронаблюдать за поведением сигнального созвездия при воздействии различных нестабильностей.

Радиотрасса; радиосвязь; дециметровые волны; цифровая обработка сигналов; аналогово-цифровой преобразователь (АЦП); активная антенная решетка (ААР); коротковолновый (КВ) диапазон; уровень сигнала; ионосфера; ионосферное прохождение; модель распространения.