

# Технологии виртуализации измерений для интеллектуальных информационно-измерительных систем

И. А. Брусакова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)  
brusakovai@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлены теоретико-методические подходы к формированию ансамбля интеллектуальных измерений для задач метрологического анализа и синтеза с использованием виртуальных измерительных цепей. Приведен сравнительный анализ технологий виртуализации измерений для различных платформенных решений. Рассмотрены процедуры интеграции ансамбля интеллектуальных измерений в виртуальные измерительные средства. Представлена концепция информационно-измерительной системы как мультиагентной системы. Введено понятие интеллектуального агента для задач реконфигурации измерительной цепи.

**Ключевые слова:** интеллектуальные измерения, виртуальные измерительные цепи, технологии виртуализации измерений, информационно-измерительные системы, мультиагентные системы, интеллектуальный агент

## I. ВВЕДЕНИЕ

Повышение уровня сложности технических объектов требует существенного увеличения количества контролируемых параметров, характеризующих процессы их функционирования. Интеграция процедур измерений на базе виртуальных измерительных цепей (ВИЦ) и виртуальных измерительных средств (ВИС) в алгоритмическое и информационное обеспечение интеллектуальных информационно-измерительных систем (ИИИС) позволяет организовать консолидацию информационных ресурсов и повысить быстродействие получения результатов измерений с требуемыми характеристиками. Расширение функционала ИИИС с использованием технологий виртуализации измерений и технологий Интернета вещей на единой технико-технологической платформе позволит автоматизировать процедуры метрологического анализа и синтеза и обеспечить необходимый уровень достоверности их характеристик. Развитие технологий Интернета вещей, технологий виртуализации измерений, Big Data технологий позволяет на новом технико-технологическом уровне решать задачи анализа и синтеза результатов интеллектуальных измерений информационно-измерительных систем. Новый технико-технологический уровень решения задач сводится к выбору необходимого состава инструментов технико-технологической платформы, способной интегрировать

инструменты приобретения, обработки, регулировки, интерпретации результатов интеллектуальных измерений. Идея сборки необходимых инструментов управления процедурами измерений с помощью информационных интеллектуальных агентов позволит существенно упростить формирование необходимых условий для проведения метрологического анализа и синтеза. Помимо этого, впервые в необходимых условиях измерительных процедур учитываются технико-технологические особенности инфокоммуникационных инфраструктур.

## II. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Интеллектуальное измерительное средство – средство, обладающее способностью целенаправленного выбора и выполнения рационального алгоритма измерений в фиксированной ситуации, определяемой видом измеряемой величины, свойствами объекта измерений, требованиями, предъявляемыми к процедуре и средствам измерений, и наложенными ограничениями. ИИИС включают в свой состав БИЗ и интеллектуальный интерфейс [1].

В [1] впервые предложено рассматривать ИИИС как совокупность средств, интегрированных в сети, снабженных на всех этапах формализации описания данных и знаний блоками метрологического автосопровождения (МАС), блоком принятия решений (БПР) и интеллектуальными интерфейсами. Предполагалось, что при описании множества измерительных ситуаций на множестве входных сигналов, множестве измерительных ситуаций возможно создание программных продуктов, которые бы позволили оценивать достоверность полученных оценок метрологических характеристик результатов измерений.

Введение в теоретической метрологии понятий интеллектуальные измерения, интеллектуальные измерительные средства, интеллектуальный интерфейс, базы измерительных знаний, метрологическое автосопровождение, ВИС, ВИЦ [1–4] и т. п. позволяет рассматривать процедуры измерений на «платформенном уровне». Под «платформенным уровнем» процедур измерений будем понимать организацию архитектуры ИИИС как взаимосвязанной совокупности программно-аппаратных, информационных, математических, коммуникационных и т. д. средств, позво-

ляющих интегрировать интеллектуальные измерительные средства в единое информационное пространство. Организация зрелых инфокоммуникационных инфраструктур для задач измерений позволяет расширить функционал информационно-измерительных систем для решения задач оценки достоверности метрологических характеристик погрешностей результатов измерений. В этом случае требуется собрать необходимую инфокоммуникационную инфраструктуру для успешного функционирования ИИС и расширения ее функционала с помощью инструментов виртуализации, Интернета вещей, искусственного интеллекта и т. д.

При платформенности подхода к интеллектуализации процедур измерений применимы инструменты виртуализации, Интернета вещей, искусственного интеллекта.

Наличие интеллектуального интерфейса являлось признаком интеллектуальной информационной системы.

Направленное изменение характеристик метрологического анализа и синтеза можно реализовать с помощью специализированного программного обеспечения. В настоящее время целесообразно представлять интеллектуальный интерфейс как возможность конструирования тех или иных ИТ-сервисов в сервисно-ориентированных архитектурах информационных систем [3].

Вместо термина «интеллектуальный интерфейс» используются термины «семантический слой», «аналитическая платформа». Введение термина «искусственный интеллект» в информационно-измерительную технику и технологии целесообразно с тем случае, если мы проектируем и эксплуатируем такой набор ИТ-сервисов, с помощью которого расширяется функционал по количеству и сложности решаемых задач. К таким задачам относятся задачи метрологического анализа и синтеза. Требуется собрать измерительную процедуру из множества составляющих ВИЦ – АЦП, дискретизаторов, нормирующих устройств, масштабирующих устройств и т. д. Далее требуется получить множество возможных комбинаций погрешностей составляющих для компонент погрешности результата измерений.

Технологии Интернета вещей позволяют осуществить направленное регулирование электрических измерений в требуемых границах.

Технологии виртуализации позволяют реализовать имитационное моделирование процессов измерений, синтеза и анализа виртуальных измерительных цепей.

Под ансамблем интеллектуальных измерений будем понимать измерения, полученные в условиях определенной конфигурации архитектуры ИИС и определенной технико-технологической платформе. Насколько зрелой является эта инфраструктура, настолько адаптируемой к внешним и внутренним изменениям будет ИИС.

### III. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ АНСАМБЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Микроописание любой измерительной процедуры можно отнести к простейшему виду процессорных измерений, при которых структура ВИЦ цепи алгоритмически представляется, например, в виде [1, 2]

$$U_j^* = R_n R_m R_{сч} R_k R_d U_j(t),$$

где  $R_n R_m R_{сч} R_k R_d$  – операторы процессорной обработки, масштабирования, считывания, квантования и дискретизации  $U_j(t)$  в результат измерения на  $j$ -й итерации измерительной процедуры  $U_j^*$ .

Для описания погрешностей результатов измерений вводится так называемое *гипотетическое уравнение измерений*, представляющее истинное значение измеряемой величины:

$$\lambda_j = R_m^r \dots R_1^r \gamma_j(t),$$

где  $R_i^r$  –  $i$ -е гипотетическое преобразование. Тогда погрешность может быть представлена в виде разности

$$\Delta \lambda_j^* = \lambda_j^* - \lambda_j = R_m \dots R_1 \gamma_j(t) - R_m^r \dots R_1^r \gamma_j(t).$$

При этом

$$\Delta \lambda_j^* = \sum_{i=1}^m \Delta_i \lambda_j^*,$$

где  $\Delta_i \lambda_j^*$  –  $i$ -й компонент полной погрешности, обусловленный, согласно (1.2), отличием реализуемого  $i$ -го преобразования  $R_i$  от гипотетического  $R_i^r$ ,

$$\Delta_i \lambda_j^* = R_m^r \dots R_{i+1}^r R_i \dots R_1 \gamma_j(t) - R_m^r \dots R_{i+1}^r R_i^r R_{i-1} \dots R_1 \gamma_j(t)$$

Развитие теории метрологического анализа ВИЦ затрагивает вопросы обеспечения требуемой достоверности результатов оценивания характеристик погрешностей. Требуемая достоверность, таким образом, достигается посредством максимального учета всех факторов, обуславливающих недостоверность результатов метрологического анализа. Анализируются методическая и инструментальная составляющая погрешности.

Оценка любой характеристики погрешности выполняется с помощью *априорных знаний*, включающих в себя сведения об объектах, процедурах, средствах и условиях измерений и их взаимосвязей, и заключается в формировании расчетного соотношения и последующих вычислениях. Под достоверностью метрологических характеристик понимается отличие вероятностной характеристики погрешности результата измерений от ее оценки, т. е.

$$\Delta\theta[\Delta\lambda_j^*] = \theta[\Delta\lambda_j^*] - \theta^*[\Delta\lambda_j^*] =$$

$$\Delta_{\text{на}}\theta^*[\Delta\lambda_j^*] + \Delta_{\text{ни}}\theta^*[\Delta\lambda_j^*]$$

$$\theta[\Delta\lambda_j^*] = \int_{\Delta} g[\Delta\lambda_j^*] \mu[\Delta\lambda_j^*] d\Delta\lambda_j^*,$$

где под  $g[\Delta\lambda_j^*]$  понимается характеристика погрешности полной группы погрешностей  $\Delta\lambda_j^*$ , а именно: математическое ожидание  $M[\Delta\lambda_j^*]$ , дисперсия  $D[\Delta\lambda_j^*]$ , интервальное оценивание плотности вероятности полученных метрологических характеристик (МХ) в виде  $P_{\Delta}[\Delta_{\text{н}}, \Delta_{\text{в}}]$ ;  $\Delta_{\text{на}}\theta^*[\Delta\lambda_j^*]$  – погрешность неадекватности определения модели погрешности,  $\Delta_{\text{ни}}\theta^*[\Delta\lambda_j^*]$  – погрешность неидеальности.

Под *математическими моделями* понимаются совокупности моделей входных воздействий, моделей модулей ВИЦ, моделей самих ВИЦ, моделей погрешностей и их характеристик, моделей условий измерений и т. п. Неадекватность выбора математических моделей, таким образом, и определяет меру достоверности результатов измерений.

Функционирование ИнИС предполагает использование модели измерительной ситуации в виде [3]

$$M_{\text{снт}} = \{U_j^* = F(U_j), M_{\text{вх.возд}}, M_{\text{усл}}, \theta\}.$$

Цикл функционирования ИнИС, представленной совокупностью  $NR$  модулей, предполагает серию отображений ( $O_i$ ) типа [3]

$$I \xrightarrow{O_1} M_{\text{снт}} \xrightarrow{O_2} \{L_{\text{виц}}(U_j(t))\}_{i=1}^N \xrightarrow{O_3}$$

$$\{\theta_r[\Delta U_j^*]\}_{r=1}^{NR} \xrightarrow{O_4}$$

$$\xrightarrow{O_4} L_{\text{опт}}[U_j(t)] \xrightarrow{O_5} T_{L_{\text{опт}}} \xrightarrow{O_6}$$

$$\xrightarrow{O_6} \{U_j^*(t)\} \xrightarrow{O_7} \{\theta^*[\Delta U_j^*]\} \xrightarrow{O_8}$$

$$\{\delta\theta^*[\Delta U_j^*]\} \xrightarrow{O_9} \{P_{\delta\theta^*}\},$$

где  $O_1$  – идентификация ситуации по поступившим извне данным  $I$ ;  $O_2$  – установление множества возможных вариантов построения ИЦ;  $O_3$  – МА ВИЦ с установлением значений характеристики  $\theta_r[\Delta U_j^*]$  для каждой цепи в данной ситуации;  $O_4$  – выбор оптимального варианта построения ИЦ;  $O_5$  – физическая реализация оптимального варианта, формирование тезауруса оптимальных моделей ВИЦ;  $O_6$  – выполнение измерений (формирование совокупности результатов измерений);  $O_7$  – получение мер достоверности оценки  $\theta_i^*(\Delta U_j^*)$  в виде  $\delta\theta_i^*(\Delta U_j^*) = \theta_i^*(\Delta U_j^*) - \theta_i(\Delta U_j^*)$  или в виде интервальной вероятности. Каждое отображе-

ние выполняется с помощью соответствующей системы вывода.

Полнота формируемой БИЗ обеспечивает «степень интеллектуальности» ИнИС.

#### IV. ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ И ВИРТУАЛИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ

Бурно развивающиеся технологии Интернета вещей позволяют интегрировать информационно-измерительные модули в своей среде. Платформы Интернета вещей содержат уровни: подключения и нормализации, управления устройствами, обработки, визуализации, аналитики, хранения данных, внешние интерфейсы [5]. Применение той или иной платформы Интернета вещей требует определенного наполнения инфраструктуры: операционной системы, языка программирования и т. д.

Технологии виртуализации измерений позволяют создавать цифровых двойников измерительных ситуаций, рассмотренных выше. В настоящее время широко применяются технологии виртуализации измерений на базе LabView virtual measurement circuit design environment [6], ZETLab, Matlab Simulink.

Применение теории управления ИнИС как мультиагентной системой позволяет в качестве агентов рассматривать как сами интеллектуальные измерительные средства, так и измерительные ситуации для ВИЦ. Глубина декомпозиции зависит от типа решаемой задачи.

Для задач метрологического анализа и синтеза под интеллектуальным агентом, например, можно понимать полную группу погрешностей, метрологические характеристики полной группы погрешностей, оценки достоверности и т. д. Процедуры выстраивания взаимосвязей между агентами позволяют рассматривать ИнИС как мультиагентную систему.

Так, например, при решении задачи оценки достоверности результатов метрологического анализа на множестве моделей входных сигналов, множестве моделей ВИЦ, множестве моделей составляющих погрешностей вид мультиагентной системы представим в виде сетевой модели представления измерительных знаний (4.2), которой агентами (узлами сети) являются конкретные значения конкретных свойств перечисленных моделей.

#### V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в статье представлен платформенный подход к получению ансамбля интеллектуальных измерений при расширении функционала ИнИС с использованием технологий виртуализации измерений и технологий Интернета вещей на единой технико-технологической платформе. Такой подход позволит автоматизировать процедуры метрологического анализа и синтеза и обеспечить необходимый уровень достоверности их характеристик. При платформенном подходе к построению архитектуры ИнИС повышается эффективность управления измерительными ситуациями при совместном использовании рас-

четов, имитационного моделирования и метрологического эксперимента.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Романов В.Н., Соболев В.С., Цветков Э.И. Интеллектуальные средства измерений. РИЦ «Татьянин день». М., 1994.
- [2] Брусакова И.А., Цветков Э.И. Метрологический анализ виртуальных измерительных цепей: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2000. 76 с.
- [3] Brusakova I.A Metrics for Cognitive Management of IT Services // Proceedings of of 2020 23rd International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2020. Pp.224-226. DOI 9198750/
- [4] ГОСТ Р 8.673.2009: Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Основные термины и определения оригинал документа
- [5] <https://nag.ru/articles/article/32221/dvadsat-odin-primer-iot-platform.html>
- [6] <http://www.labview.ru/>