

О достоверности контроля адаптивных информационно-измерительных систем

Е. М. Антонюк¹, П. Е. Антонюк², И. Е. Варшавский³, Д. С. Гвоздев⁴
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

¹peterant@hotmail.com, ²peterant7@gmail.com, ³varshavskiyie@gmail.com, ⁴gvozdev_8@mail.ru

Аннотация. Увеличение объёмов измерительной информации, вызванное естественным развитием промышленной и научной сферы деятельности человека, привело к необходимости совершенствования структур и алгоритмов работы информационно-измерительных систем. Для своевременного получения информации о состоянии важных промышленных объектов были разработаны адаптивные информационно-измерительные системы, осуществляющие критериальный отбор информации. При этом возникает необходимость оценки достоверности контроля таких систем, например, для оптимального выбора структуры системы при автоматическом проектировании или выборе типа структуры и алгоритма функционирования для решения практической задачи. В данной работе рассматривается подход к оцениванию достоверности контроля адаптивных информационно-измерительных систем.

Ключевые слова: достоверность контроля; информационно-измерительная система; система автоматического контроля; классификация

I. ВВЕДЕНИЕ

Увеличение объёмов измерительной информации, поступающей от множества источников промышленных предприятий и научно-исследовательских лабораторий, сформировало необходимость в разработке нового класса информационно-измерительных систем (ИИС) – многоканальных адаптивных ИИС с критериальным отбором информации.

В основу принципа действия таких систем заложены адаптивные алгоритмы, позволяющие отбирать наиболее важную в текущий момент времени информацию и передавать её потребителю для дальнейшего анализа или формирования своевременного управляющего воздействия.

Отбираемая адаптивными ИИС информация часто характеризует аварийный или предаварийный режим работы объекта, для получения информации о котором используется данная система.

Отбирая наиболее важную информацию, адаптивная ИИС позволяет сократить объёмы менее существенной – избыточной информации, что важно даже, если собираемая информация не используется для формирования срочного управляющего воздействия, поскольку такой подход решает проблему хранения, обработки и дальнейшего анализа больших объёмов данных.

Адаптивные ИИС, использующие алгоритмы критериального отбора информации, можно разделить по принципу действия на системы с равномерным, асинхронно-циклическим алгоритмом опросом датчиков

[1] и системы с адаптивной коммутацией [2]. Системы с адаптивной коммутацией, в свою очередь, можно разделить на системы с последовательным, параллельно-последовательным и параллельным опросом датчиков. При этом системы с равномерным опросом датчиков, по сути, представляют собой вырожденный случай адаптивных ИИС, когда источники информации опрашиваются подряд, что приводит к необходимости выбора частоты дискретизации на основе априорных сведений об исследуемом объекте.

Обобщённый принцип действия адаптивных ИИС заключается в подключении к выходу системы канала, сигнал от которого достиг некоторого, заранее установленного значения. При этом системы с адаптивной коммутацией анализируют поступающие сигналы для обнаружения сигнала, наиболее отклонившегося от установленного значения.

Адаптивные ИИС обладают рядом характеристик, например, погрешностью, возникающей от многоканальности, которая может быть рассчитана с применением статистического анализа входных сигналов системы, на основе структурных особенностей разрабатываемой ИИС, например, по количеству каналов системы.

Погрешность, возникающая от многоканальности, характеризует величину, на которую изменится измеряемый сигнал за один такт опроса датчиков [2]. Обладая сведениями по погрешности, возникающей от многоканальности, можно получить представление о том, насколько сигнал, характеризующий критическое состояние исследуемого объекта изменится, пока система опрашивает другие, возможно не менее важные сигналы.

Одной из важных и, при этом, наименее описываемой характеристикой адаптивных ИИС является достоверность контроля.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В научной литературе встречается описание достоверности контроля одноканальных ИИС, такая характеристика описывает точность, с которой одноканальная система обнаруживает наиболее важные отсчёты сигнала. В соответствии с рассчитанной точностью можно установить значение величины, при достижении которой система отправит сигнал к своему выходу.

При наличии у системы множества каналов, такая характеристика не позволяет учитывать погрешности и иные особенности, вносимые алгоритмом работы, например, способом опроса множества каналов системы.

Существует вероятностный подход к определению достоверности контроля адаптивных ИИС. Согласно данному подходу, достоверность контроля системы – это вероятность того, что система обнаружит отклонения контролируемых параметров от устанавливаемого значения [3]. Такой подход позволяет оценивать вероятность обнаружения системой наиболее важного для потребителя параметра. В режиме отладки системы, такой параметр может быть рассчитан с применением имитационного моделирования.

Данный подход позволяет получить достоверность контроля определённых структурно описанных систем. А именно, определённых асинхронно-циклических систем и систем с адаптивной коммутацией. При этом, данный подход не позволяет получить необходимую характеристику в случаях, когда структура системы неизвестна, например, модель системы представлена чёрным ящиком или структура имеет существенные отличия от показанных структур.

Задача, решаемая адаптивной ИИС с критериальным отбором информации, является классификационной, системы, отправляющие информацию к своему выходу по достижении измеряемой величиной некоторого единственного установленного уровня, по сути, осуществляют бинарную классификацию. Такие системы разделяют отсчёты измеряемого сигнала по двум категориям, условно, на категорию отсчётов важных потребителю и категорию отсчётов неважных потребителю. Значения сигнала первой категории отправляются к выходу системы, значения, попавшие во вторую категорию, отбрасываются.

Если уровень, с которым сравнивается измеряемая величина, адаптивный, то есть меняться в зависимости, например, от динамических характеристик входных сигналов, или система сравнивает сигнал, поступивший от одного источника с несколькими различными значениями одновременно, где каждое из значений характеризует отличное от других состояния исследуемого объекта, тогда задача, решаемая ИИС, может быть представлена задачей многоклассовой классификации.

В теории информации существуют показатели, часто используемые для оценки правильности работы различных классификаторов, например, нейронных сетей, решающих задачи классификации, а именно precision, recall и обобщённый показатель F-мера. При этом в контексте информационно-измерительных систем, данные показатели не используются, ввиду новизны ИИС, решающих задачи классификации.

В докладе показано, как данные характеристики могут быть использованы для оценки достоверности контроля адаптивных ИИС.

III. PRECISION, RECALL И F-MEPA

Precision и recall используются в качестве показателей успешности классификаторов. При этом для расчёта данных показателей используется матрица ошибок классификатора. Матрица ошибок для двух классов 1 и 0 показана в таблице.

ТАБЛИЦА I Матрица ошибок

Классы	y=1	y=0
x=1	True Positive (TP)	False Positive (FP)
x=0	False Negative (FN)	True Negative (TN)

В таблице y – истинный класс классифицируемого объекта, x – класс, полученный от классификатора.

В терминах теории информационно-измерительных систем 1 – предаварийное (критическое) состояние исследуемого объекта, 0 – нормальное состояние исследуемого объекта, y – состояние объекта, полученное в результате экспертной оценки, x – состояние объекта, полученное в результате работы адаптивной ИИС.

Тогда TP – верно обнаруженное с помощью ИИС предаварийное состояние исследуемого объекта, TN – верно обнаруженное с помощью ИИС нормальное состояние исследуемого объекта. FP – неверно обнаруженное нормальное состояние объекта, то есть анализатор ИИС сработал ложно; FN – неверно обнаруженное предаварийное состояние исследуемого объекта, то есть при наличии предаварийного состояния исследуемого объекта адаптивная ИИС не сработала, например, из-за времени ожидания обслуживания канала, в котором появился сигнал, характеризующий критически важное состояние.

Показатель precision описывает количество верно обнаруженных предаварийных состояний (TP) относительно суммы верно обнаруженных предаварийных состояний (TP) и ложных срабатываний (FP) адаптивной ИИС:

$$\text{Precision} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FP}).$$

Recall описывает количество верно обнаруженных предаварийных состояний (TP) относительно суммы верно обнаруженных предаварийных состояний (TP) и необнаруженных предаварийных состояний объекта (FN):

$$\text{Recall} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN}).$$

Показатель, обобщающий Precision и Recall, определяется как их среднегармоническое значение:

$$F\text{-measure} = 2 \cdot (\text{Precision} \cdot \text{Recall}) / (\text{Precision} + \text{Recall})$$

Показатель precision характеризует долю верно обнаруженных критических состояний исследуемого объекта относительно всех измеренных сигналов поступающих к выходу ИИС. Recall характеризует количество верно обнаруженных критических состояний объекта относительно всех критических состояний, которые были классифицированы таковыми экспертами.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определяя достоверность контроля, как способность адаптивной ИИС верно обнаруживать критические состояния исследуемого объекта, можно сформировать оценку достоверности контроля, используя показатели precision, recall and f-measure.

С применением методов имитационного моделирования можно формировать сигналы, амплитудный уровень которых соответствует некоторому состоянию объекта, на котором планируется внедрение разрабатываемой ИИС. Используя экспертную оценку состояния объекта по модельному сигналу и реакции адаптивной ИИС на данный сигнал можно получать оценки данных показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Antonyuk E.M., Antonyuk P.E., Varshavskiy I.E. Asynchronous-cyclic Automatic Control System with Feedback on Permissible Deviation. // 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 2021, pp. 165-166, doi: 10.1109/SCM52931.2021.9507143.
- [2] Antonyuk E.M., Antonyuk P.E., Varshavskiy I.E. Algorithmic Description of Adaptive Information-Measuring System with Data Compression. // 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2021, pp. 89-93, doi: 10.1109/EIConRus51938.2021.9396404.
- [3] Alekseev V.V., Antonyuk E.M., Varshavskiy I.E. Algorithmic Support of Adaptive Automatic Control Systems with Data Compression. // Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2020;23(6):84-99. (In Russ.) <https://doi.org/10.32603/1993-8985-2020-23-6-84-99K>.
- [4] D. Powers. Evaluation: from precision, recall and f-factor to roc, informedness, markedness & correlation. // Machine Learning Technology, vol. 2, no. 1, Jan. 2008.