

Intelligent information systems

UDC 519.179.2 : 004.415.5 : 351.814.33

doi: 10.20998/2522-9052.2018.4.16

O. Timochko

Holding «Kreditech», Hamburg, Germany

METHOD OF SOFTWARE VERIFICATION OF AIR OBJECTS CLASSIFICATION FUZZY LOGICAL SYSTEM

Objects of different classes are detected in the process of monitoring airspace. The classification of an air object is the process of establishing its belonging to a preassigned class. Classes are automatically determined or set automated. The unambiguous assignment of air objects to a particular class is an actual scientific task. The purpose of the article is to develop a method for verifying software for a fuzzy logical system for classifying air objects. This problem is solved in a fuzzy setting. To solve this problem, an appropriate software verification method has been developed. The method is based on fuzzy colored Petri nets and uses a base of fuzzy production rules. The structure of the fuzzy network verification model has been developed. The basis of the model is a fuzzy colored Petri net for representing the base of fuzzy production rules for classifying air objects. For the convenience of visualization of the fuzzy network verification model, the interpretation of the elements of the fuzzy colored Petri net is introduced. The analysis of the state space of a fuzzy network verification model reflects all possible markings. The state space allows to obtain the values of the indicators of all the basic properties of the Petri net. The CPN Tools modeling system is used to build and analyze the state space. The full standard report for the fuzzy logical classification system of air objects was obtained from the simulation results. The report fragment with conclusions about the correctness of the model is given. The report contains sections of state space statistics - the number of nodes, arcs and status, indicators of the properties of reversibility, limitation, survivability and fairness of transitions. The method includes five steps. **1.** A base of fuzzy production rules is being developed. **2.** The set of interpretation rules transforms the base of fuzzy production rules into the form of fuzzy colored Petri nets. **3.** The model is examined for proper functioning. **4.** When an error is detected, its type is analyzed. After its correction, the program repeats, starting with any of stages 1, 2 or 3. **5.** Reports on the total space of states with various combinations of source data are issued. A final report is issued after analyzing the correctness of the set of reports and correcting errors that have occurred.

Keywords: air object, classification; software verification; colored Petri nets; fuzzy production rule; verification method.

Introduction

Formulation of the problem. There are two main problems, when developing a software verification method. The first problem is related to the representation of the subject area by some kind of mathematical apparatus. The second problem is related to building test suites.

It is obvious that the solution of both problems depends on the subject area for which the software is being developed. So, consider the fuzzy logical system of classification of air objects in the control of airspace. Software verification in this case is represented by dynamic interacting processes. They can be built on a colored Petri net [1]. For a fuzzy logic system, it is necessary to develop a base of fuzzy production rules [2].

Thus, when monitoring airspace the method of verification of a software for the classification of air objects must necessarily include:

- a) representation of dynamic interacting processes in the state space by a fuzzy colored Petri net;
- b) the base of fuzzy production rules of a fuzzy logical system. The system allows to classify air objects while controlling the airspace;
- c) a set of interpretation rules for converting the base of fuzzy production rules into the form of fuzzy colored Petri nets.

The purpose of the article is to develop a method for verifying the software of a fuzzy logical system for classifying air objects while monitoring airspace.

Analysis of the References. In [1], a specific fuzzy colored Petri net was considered. It is used to

classify air objects in the airspace control process. The work [2] is devoted to the development of a base of rules for fuzzy products. The fuzzy colored Petri net corresponds to the specified rule base. Obviously, this fuzzy colored Petri net is a fuzzy network model. The model is used to verify the software of a fuzzy logical classification system for air objects. The structure of this fuzzy network model of verification is shown in Fig. 1. The proposed fuzzy network model of verification is a feasible model. The model is limited to the framework of formal software verification methods.

The paper [3] is devoted to consideration of the stability of solutions for fuzzy control tasks in classification systems. Tasks take into account the interaction of dynamic fuzzy processes.

In the papers [4, 5], the influence of errors and redundancy in knowledge bases on the effectiveness of solutions is investigated.

Thus, the aforementioned allows us to proceed with the development of a method for verifying the software of a fuzzy logical classification system.

Presentation of the main material

Fuzzy colored Petri net corresponds to the base of fuzzy production rules for classifying air objects. This network is a fuzzy network model of software verification for classifying airborne objects. Its structure is shown in Fig. 1.

The proposed fuzzy network model is considered as an executable model in the framework of formal software verification methods.

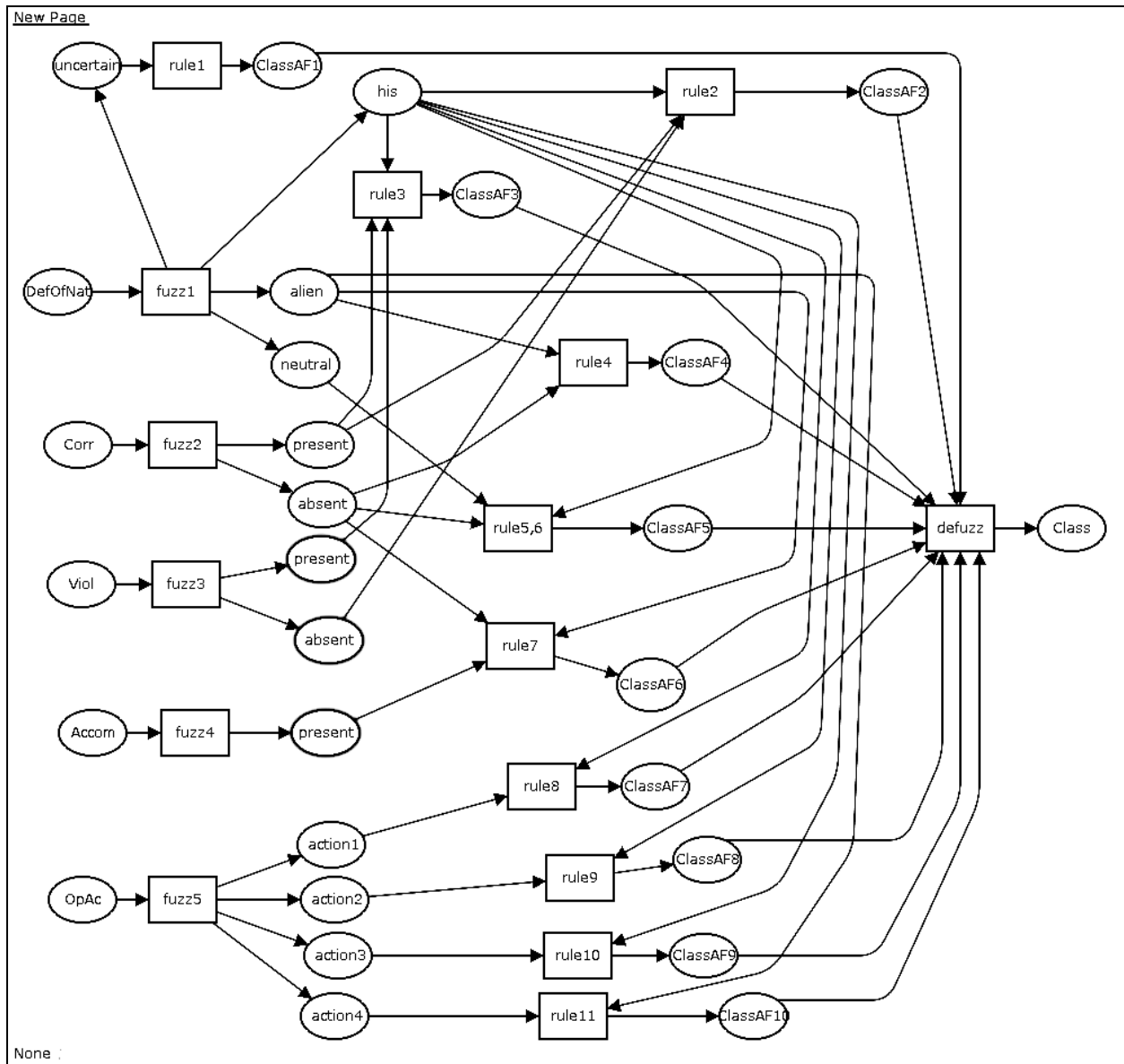


Fig. 1. The structure of the fuzzy network model of software verification for the classification of airborne objects, built on the basis of a fuzzy colored Petri net

We visualize a fuzzy network model of verification. To do this, we interpret the elements of the fuzzy colored Petri net in terms of a fuzzy logical system as follows:

- the positions DefOfNat, Corr, Viol, Accorn, OpAc correspond to the linguistic variables from the composition of the premises of the fuzzy production rules for the classification of air objects;
- transitions fuzz1-fuzz4 correspond to fuzzification operations (introducing fuzziness) for the corresponding values of linguistic variables;
- the positions following the transitions (fuzzification operations) correspond to the terms – the values of linguistic variables from the composition of the base of fuzzy products rules for the classification of air objects;
- transitions rule1-rule11 correspond to the operations of aggregating the degrees of truth of prerequisites for each of the fuzzy production rules for classifying air objects and operations of activating of conclusions for each rules;

- ClassAF1-ClassAF10 positions correspond to the values of the output linguistic variable from the composition of the base of fuzzy products rules for classifying air objects;

- the transition defuzz corresponds to the operation of defuzzification (reduction to clarity);
- the Class position corresponds to the value of the output linguistic variable with the maximum degree of belonging to one of its terms according to the results of processing the ClassAF1-ClassAF10 positions.

The state space of a fuzzy network verification model reflects all possible markings. We know CPN Tools modeling system [6]. It allows you to build a state space and analyze the values of the indicators of all the basic properties of the Petri net. According to the results of the simulation of a fuzzy network verification model, a complete standard report was obtained for the classification of air objects.

A fragment of the report with conclusions about the correctness of the model is given in Table 1.

Table 1 – Analysis of the report on the state space of a fuzzy network verification model

Report Results	Conclusions
State Space (<i>Statistics</i>) Status Full Nodes 45 Arcs 58	The state space of the model is calculated completely and contains 45 nodes and 58 arcs
<i>Reversibility properties</i> Home Markings All Dead Markings None	All markings are "home" – the model is reversible. There are no "dead" markings – there are no dead ends in the model
<i>Survivability properties</i> Dead Transition Instances None Live Transition Instances All	There are no "dead" transitions. All transitions are "live". All events occur during a communication session.
<i>Restricted properties - upper and lower bounds of numeric and multisets</i> Best Integer Bounds (Upper, Lower), Best (Upper, Lower) Multiset Bounds	
Corr 1 0 present 3 0 Class 1 0 Corr 1 (1, (1, 1)) ++ 1 (2, (1, 1)) ClassAF5 1 1 ++ 1 2	The network is limited, with boundaries equal to 3 – for the present place, 1 – for Corr, 1 – for the Class location, etc., which corresponds to the source data. Based on the data of the upper bounds of multisets of places, we conclude that there are tags in the places in accordance with the rules of the model
<i>Fairness Properties (fairness transitions)</i>	
fuzz1 Just rule3 Impartial rule7 Fair defuzz No Fairness	The validity of the fuzz1 transition is justified, the transition of rule3 is objective, the transition of rule7 is proved, and the transition of defuzz and of the other transitions is not proved

The presented report contains:

- sections of statistics of the state space – the number of nodes, arcs and status;
- indicators of the property of reversibility – a list of returnable markings (Home Markings) and "dead" markings (Dead Markings);
- indicators of survivability properties – a list of "live" transitions (Live Transition Instances) and "dead" transitions (Dead Transition Instances);
- indicators of the property of boundedness – the upper and lower numerical boundaries (Integer Bounds) and multisets (Multi-set Bounds);
- indicators of the property of fairness of the conversion transition (Just – justified, Fair – proved, Impartial – objectively, No Fairness – not determined).

Thus, a software verification method has been developed for a fuzzy logical classification system for airborne objects. It uses fuzzy colored Petri nets and includes the following steps (Fig. 2):

1. A base of fuzzy production rules is being developed. These rules apply to a fuzzy logical system. The system is designed to classify air objects in the process of monitoring airspace.

2. The set of interpretation rules transforms the base of fuzzy production rules into the form of fuzzy colored Petri nets.

3. The model is examined for proper functioning. For this, various combinations of source data are specified. These combinations are performed in different sequences.

4. When an error is detected, its type is analyzed. After its correction, the program repeats, starting with any of stages 1, 2 or 3.

5. Reports on the total space of states with various combinations of source data are issued. A final report is issued after analyzing the correctness of the set of reports and correcting errors that have occurred.

Conclusion

1. A software verification method has been developed for a fuzzy logical classification system for airborne objects when controlling airspace. Extended fuzzy colored Petri nets are chosen by the basic mathematical apparatus for the method. This class of Petri nets has a great advantage in comparison with other classes.

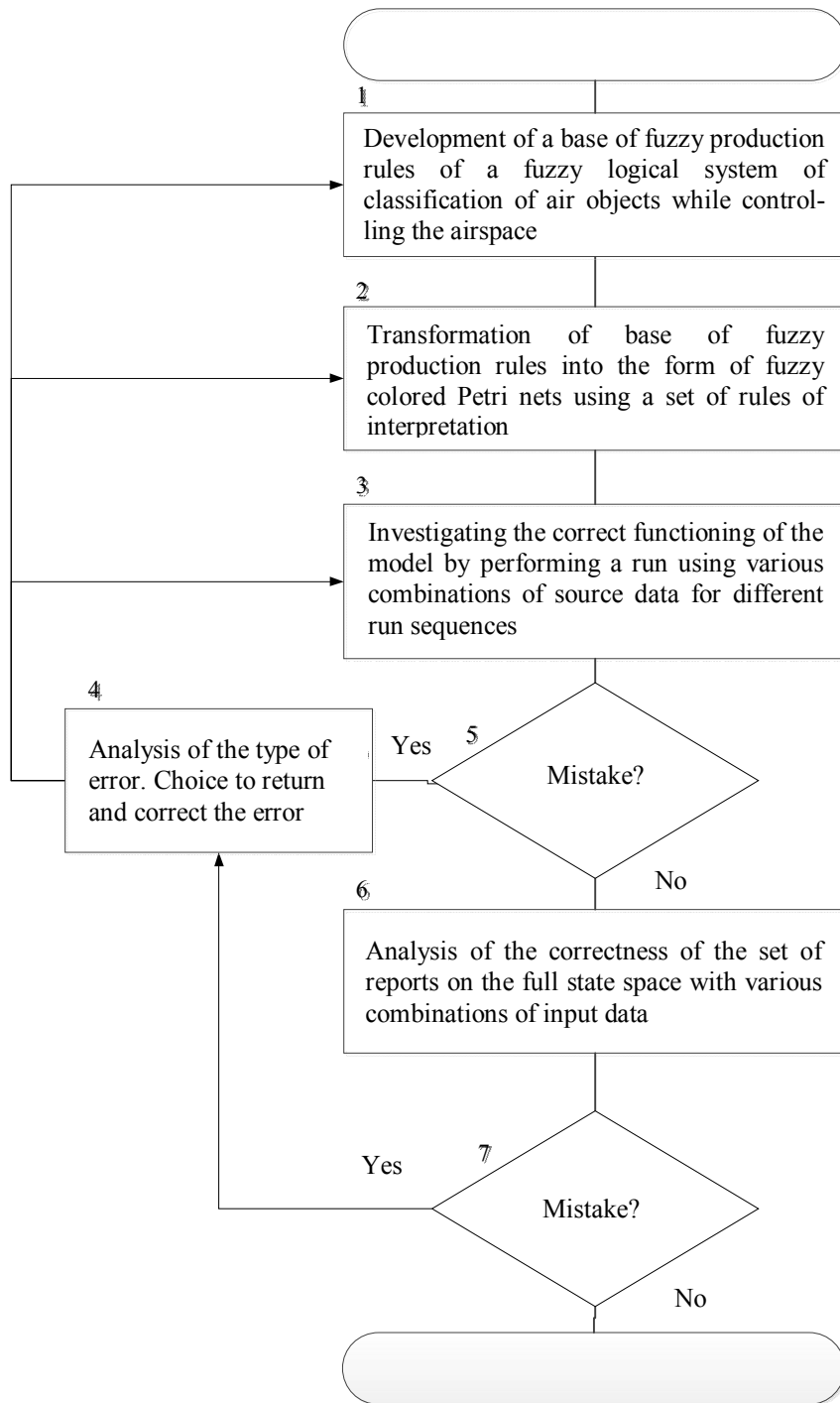


Fig. 2. Sequence of actions in the proposed method

It reduces the dependence of the dimension of a fuzzy network verification model on the dimension of dynamically interacting domain processes.

2. A base of fuzzy production rules of a fuzzy logical system and a generalized algorithm for implementing these rules for classifying air objects has been developed.

3. The fuzzy logical model allows to take into account the non-stochastic and subjective nature of the decision-making process on the classification of air objects.

4. The developed software verification method after analyzing various types of errors allows to classify air objects.

REFERENCES

1. Timochko, A.A. (2018), "Representation of dynamic interacting processes in the state space of a fuzzy colored Petri net for verification of a software product of a fuzzy logical classification system", *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 4(33), pp. 82-89.

2. Timochko, A.A. (2018), "Development of fuzzy productive rules of a fuzzy logical classification system of air objects in the process air space control and a generalized algorithm of their realization", *Systems of Control, Navigation and Communication*, PNTU, Poltava, No. 5(51), pp. 33-37, available at: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.5.033>.
3. Hasegama, T., Furuhashi, T., Uchikama, Y. (1996), "Stability analysis of fuzzy control systems based on Petri nets", *Proc. Int. Discourse on Fuzzy Logic and the Management of Complexity*, FLAMOC'96, pp. 191-195.
4. Nasareth, D.L. (1993), "Investigating the applicability of Petri nets for rule-based system verification", *IEEE Trans. Software Eng.*, 4, pp. 402-415.
5. Polat, F., Guvenir, H. (1993), "UVT: A unification-based tool for knowledge base verification", *IEEE Expert*, 8, pp. 69-75.
6. Zaitsev, D.A., Shmeleva, T.R. (2006), *Simulating Telecommunication Systems with CPN Tools*, ONAT, Odessa, 60 p.

Received (Надійшла) 23.10.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.11.2018

Метод верифікації програмного продукту нечіткої логічної системи класифікації повітряних об'єктів

О. О. Тімочко

У процесі контролю повітряного простору повітряні об'єкти виявляються і класифікуються за різними задалегідь визначеними класами. Віднесення до класів здійснюється автоматично або встановлюється автоматизовано та є актуальним науковим завданням. Метою статті є розробка методу верифікації програмного забезпечення нечіткої логічної системи класифікації повітряних об'єктів. Завдання вирішується у нечіткій постановці. Для її вирішення розроблений відповідний метод верифікації програмного продукту. Метод базується на нечітких розфарбованих мережах Петрі і нечітких продукційних правилах. Розроблена структура нечіткої мережі моделі верифікації. Основою моделі є нечітка розфарбована мережа Петрі для подання нечітких продукційних правил для класифікації повітряних об'єктів. Для зручності візуалізації моделі перевірки нечіткої мережі вводиться інтерпретація елементів нечіткої розфарбованої мережі Петрі. Аналіз простору станів нечіткої мережі моделі верифікації, що відображає всі можливі маркування і дозволяє отримати значення показників всіх основних властивостей мережі Петрі. Його побудова й аналіз виконаний за допомогою системи моделювання CPN Tools. Система моделювання CPN Tools використовується для побудови й аналізу простору станів. За результатами моделювання був отриманий повний стандартний звіт для нечіткої логічної системи класифікації повітряних об'єктів. Наведений фрагмент звіту з висновками про правильність моделі. Звіт містить розділи статистики простору станів – кількості вузлів, дуг і статус, показники властивостей оборотності, обмеженості, живучості і справедливості спрацювання переходів. Даний метод складається з п'яти етапів. **1.** Розробка бази нечітких продукційних правил. **2.** Перетворення бази нечітких продукційних правил в форму нечітких розфарбованих мереж Петрі. **3.** Дослідження правильності функціонування моделі. **4.** Аналіз типу помилки при її виявленні. Після її корекції програма повторюється, починаючи з будь-якого з етапів 1, 2 або 3. **5.** Випуск звітів про загальний простір станів з різними комбінаціями вихідних даних. Заключний звіт видається після аналізу правильності набору звітів і виправлення помилок, що виникли.

Ключові слова: нечітке продукційне правило; класифікація повітряних об'єктів; база знань; функція приналежності; ознака повітряного об'єкта.

Метод верификации программного продукта нечеткой логической системы классификации воздушных объектов

А. А. Тимочко

В процессе контроля воздушного пространства воздушные объекты обнаруживаются и классифицируются по различным заранее определенным классам. Отнесение к классам производится автоматически или устанавливается автоматизированно и является актуальной научной задачей. Целью статьи является разработка метода верификации программного обеспечения нечеткой логической системы классификации воздушных объектов. Задача решается в нечеткой постановке. Для ее решения разработан соответствующий метод верификации программного продукта. Метод базируется на нечетких раскрашенных сетях Петри и нечетких продукционных правилах. Разработана структура нечеткой сети модели верификации. Основой модели является нечеткая раскрашенная сеть Петри для представления нечетких продукционных правил для классификации воздушных объектов. Для удобства визуализации модели проверки нечеткой сети вводится интерпретация элементов нечеткой раскрашенной сети Петри. Анализ пространства состояний нечеткой сети модели верификации отражает все возможные маркировки и позволяет получить значения показателей всех основных свойств сети Петри. Его построение и анализ выполнялся с помощью моделирующей системы CPN Tools. Система моделирования CPN Tools используется для построения и анализа пространства состояний. По результатам моделирования был получен полный стандартный отчет для системы нечеткой логической классификации воздушных объектов. Приведен фрагмент отчета с выводами о правильности модели. Отчет содержит разделы статистики пространства состояний – количество узлов, дуг и статус, показатели свойств обратимости, ограниченности, живучести и справедливости срабатывания переходов. Данный метод включает в себя пять этапов. **1.** Разработка базы нечетких продукционных правил. **2.** Преобразование базы нечетких продукционных правил в форму нечетких раскрашенных сетей Петри. **3.** Исследование правильности функционирования модели. **4.** Анализ типа ошибки при ее обнаружении. После ее коррекции программа повторяется, начиная с любого из этапов 1, 2 или 3. **5.** Вывод отчетов об общем пространстве состояний с различными комбинациями исходных данных. Окончательный отчет выдается после анализа правильности набора отчетов и исправления возникших ошибок.

Ключевые слова: воздушный объект; классификация; верификация программного обеспечения; раскрашенные сети Петри; нечеткое продукционное правило; метод верификации.