

DOI: 10.26467/2079-0619-2017-20-4-18-24

НЕЙРОСЕТЕВОЙ АЛГОРИТМ БЕЗОПАСНОГО ОБЛЕТА ВОЗДУШНЫХ ПРЕПЯТСТВИЙ И ЗАПРЕЩЕННЫХ НАЗЕМНЫХ ЗОН

Д.А. МИХАЙЛИН¹

¹Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
г. Москва, Россия

Работа выполнена при материальной поддержке РФФИ
(гранты № 15-08-00043, № 17-29-03185 и №16-08-00070)

В статье рассматривается алгоритм безопасного облета препятствий при выполнении маршрутного полета пилотируемыми и беспилотными летательными аппаратами. Проведен анализ типовых препятствий, возникающих на пути следования летательного аппарата. Показано, что применение нейронных сетей для решения указанной задачи позволяет повысить быстродействие системы управления и итоговую безопасность полета, что подтверждается моделированием. В качестве структуры нейронной сети предложено использовать многослойную сеть последовательного распространения. При этом в данной работе использовалась нейронная сеть с тремя слоями. В решаемой задаче, где рассматривается движение летательного аппарата в плане, важно наличие данных о координатах Z вершин препятствия. Таким образом, было определено число входов нейронной сети, равное четырем, а число альтернатив, определяющих количество выходов нейронной сети, соответственно – пяти, так как не исключается вариант продолжения полета летательным аппаратом по исходному маршруту. В результате сформирована обучающая выборка в виде таблицы. После обучения нейронной сети было проведено моделирование ее работы с учетом заранее сформированных препятствий.

Ключевые слова: нейронная сеть, безопасность полета, летательный аппарат, маршрут.

ВВЕДЕНИЕ

При выполнении маршрутных полетов в ряде случаев на пути заданного движения могут быть обнаружены внезапные воздушные препятствия – дирижабли, привязные аэростаты, грозовой фронт, стратостаты и подобные, а также ряд запрещенных наземных зон, в том числе крупные населенные пункты. В этом случае необходимо быстрое решение по безопасному уклонению от этих препятствий, после чего последует возвращение на заданный маршрут полета.

Существующие в настоящее время подходы к решению задачи планирования маршрута полета в первую очередь относятся к процессу наблюдения неподвижных объектов [1]. Известно множество методов маршрутизации, начиная от метода ветвей и границ и заканчивая нейросетевыми алгоритмами планирования, когда в исходных данных указаны заданные координаты местоположения нужных наблюдаемых объектов, а результатом решения задачи является последовательность облета пунктов планируемого маршрута (ППМ).

Однако в этих методах недостаточное внимание уделено выбору маршрута облета препятствий, возникающих в ходе полета, иначе говоря, тех, информация о которых не заложена в память БЦВМ перед вылетом. Особенность этого вопроса применительно к пилотируемой авиации состоит в дефиците времени на принятие решения, а к беспилотным летательным аппаратам (БЛА) в том, что в случае внезапных изменений динамической обстановки перепланирование полета должно осуществляться без участия человека в автоматическом режиме [2].

Большое разнообразие полетных ситуаций по числу встречаемых препятствий и, главное, по их относительному местоположению по сравнению с заданной линией пути требует формирования универсального алгоритма выбора лучшего варианта уклонения, обладающего в то же время высоким быстродействием. Этим требованиям удовлетворяют нейросетевые алго-

ритмы, на вход которых подаются сигналы в виде координат, характеризующих очередное препятствие и текущее положение летательного аппарата, а на выходе формируется рекомендуемая альтернатива облета препятствия.

В данной работе задача решается в предположении, что препятствия имеют форму прямоугольников, произвольно ориентированных относительно заданной линии пути.

При этом требуется разбить траекторию полета на ряд участков, выполняющих простые полетные операции (режимы), определив границы этих участков в виде ПППМ (промежуточные пункты планируемого маршрута) и задав тем самым логику многорежимного управления при отсутствии препятствий, а в случае имеющихся препятствий определить дополнительные промежуточные ПППМ для их обхода.

При этом считается, что облет осуществляется при горизонтальном полете на одной высоте.

АНАЛИЗ ВЗАИМНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ И ЗАДАННОЙ ЛИНИИ ПУТИ

Как показано в [3], перелет из текущей точки маршрута в очередную точку должен происходить внутри прямоугольной области, ограниченной текущим пунктом с одной стороны и очередным с другой. Пример такой области приведен на рис. 1.

При этом различают крупные и мелкие препятствия.

Крупным считается такое препятствие, у которого одно из измерений больше соответствующего измерения прямоугольной области перелета, то есть облет препятствия без выхода из полетной области невозможен. Если одновременно и большая и меньшая границы препятствия выходят из зоны, препятствие считается крупным, и алгоритм переходит к назначению точек облета препятствия вне области, выбирая кратчайший маршрут. Координаты назначенных точек записываются в обновленное полетное задание, алгоритм переходит к проверке следующего препятствия.

Для встречи с мелкими препятствиями в [3] рассмотрены возможные расположения препятствий относительно полетной зоны, когда между ними есть пересечения или касания, в этом случае их необходимо облетать. Все ситуации, когда пересечения или касания нет, сведены в особую ситуацию «нет угрозы». Примеры взаимного расположения приведены на рис. 2.

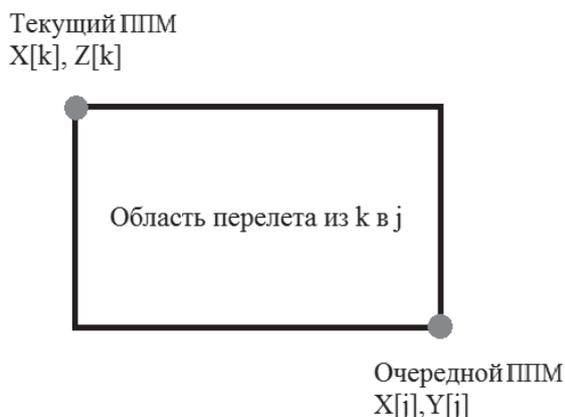


Рис. 1. Пример прямоугольной области перелета в очередной пункт маршрута
Fig. 1. An example of the rectangular flight area to the next destination

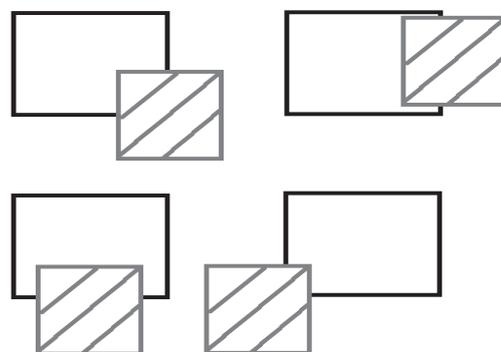


Рис. 2. Примеры взаимного расположения области перелета (черный прямоугольник) и препятствия (заштрихованная область)
Fig. 2. Examples of the mutual arrangement of an overflying area (a black rectangle) and obstacles (shaded area)

ФОРМИРОВАНИЕ ПРИМЕРОВ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРИ ОБЛЁТЕ ПРЕПЯТСТВИЙ

Прежде всего необходимо остановиться на характеристиках самой нейронной сети. В данной работе используется успешно зарекомендовавшая себя многослойная сеть последовательного распространения [4–11], легко обучаемая с помощью существующих стандартных программ NeuroPro в среде Matlab. К характеристикам такой сети относятся:

- число слоев и число нейронов в каждом слое;
- число входных сигналов;
- число выходных альтернатив принятия решений;
- весовые коэффициенты и пороговые значения каждого нейрона, которые определяются в результате компьютерного обучения.

В данной работе используется широко распространенный случай применения трех слоев: входного, промежуточного и выходного. При этом число нейронов во входном слое было принято равным числу входных сигналов, соответственно число нейронов в выходном слое – равным числу альтернатив принятия решений, а число нейронов в промежуточном слое – двум нейронам, обобщающим соответственно ситуацию слева и справа от заданной линии пути, как показано на рис. 3.

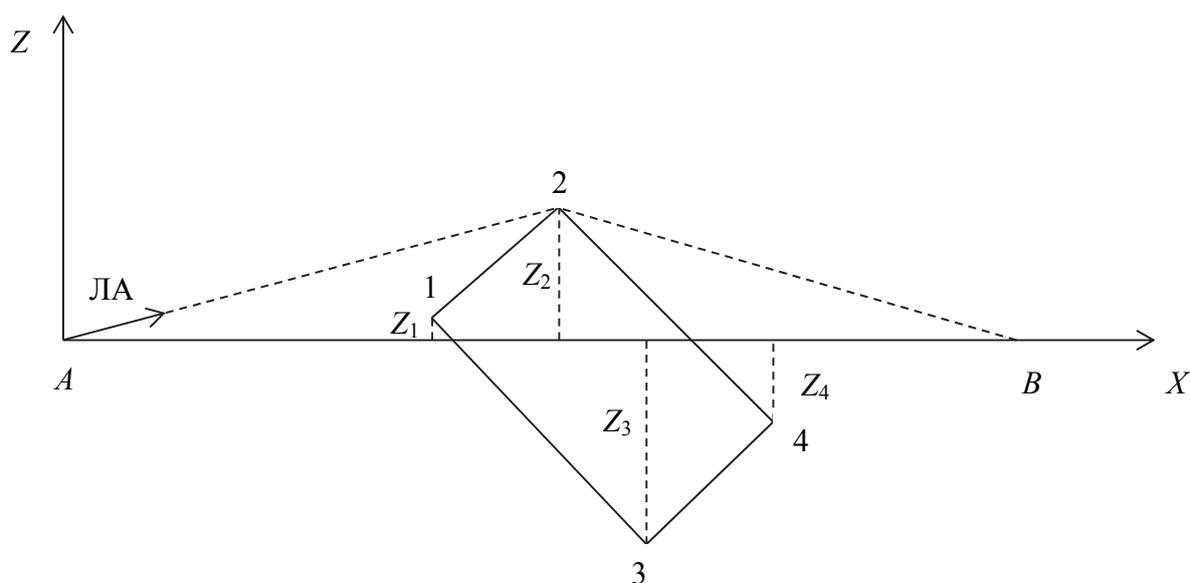


Рис. 3. Пример расположения прямоугольного препятствия на заданной линии пути
Fig. 3. An example of a rectangular obstacle arrangement on the given track

На рис. 3 нумерация вершин препятствия выполнена по мере возрастания координаты X , а главную информацию о безопасности облета содержат координаты вершин Z_i .

Видно также, что облет препятствия обусловлен вершиной 2, координата Z_2 которой, с одной стороны, является максимальной из всех координат вершин слева от линии пути, а с другой стороны, координата Z_2 меньше максимальной координаты Z_3 из всех вершин справа. В этом случае обеспечивается минимум длины нового пути облета препятствия, показанного на рис. 3 пунктиром.

Из приведенного пояснения и рис. 3 следует, что в целом возможны следующие случаи:

- все вершины прямоугольника находятся слева от заданного пути, т. е. $Z_i \geq 0$. В этом случае препятствие не представляет угрозы;
- все вершины находятся справа, т. е. $Z_i \leq 0$, что также не представляет угрозы;

– одна из вершин находится слева или справа, а остальные – по другую сторону заданной линии пути. Нетрудно доказать, что именно эта вершина входит в траекторию облета препятствия;

– наиболее сложный случай, когда две вершины находятся слева, а другие две – справа от заданной линии пути. При этом выбранной вершиной может быть любая из четырех.

Таким образом, получается, что общее число входных сигналов в первом приближении равно 4 (если использовать систему координат X и Z согласно рис. 3) $Z_i, i = 1, \dots, 4$, а число выходных альтернатив равно 5 (с учетом четырех вершин и альтернативы ($j = 5$) безопасного полета по исходному заданному пути).

Составление примеров для обучения в первых трех перечисленных случаях не представляет труда. Для последнего сложного случая составить примеры несложно, но их число должно быть достаточно большим, чтобы используемая выборка была состоятельна. В табл. 1 представлен один из вариантов этих примеров.

Таблица 1
Table 1

i	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	j
1	25	15	20	5	1
2	20	10	15	15	1
3	-30	15	-10	0	1
4	20	30	15	10	2
5	10	-20	-15	15	2
6	10	20	30	10	3
7	-10	-20	-25	-30	4

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО АЛГОРИТМА ОБХОДА ПРЕПЯТСТВИЙ

При моделировании работы предложенного алгоритма в качестве тестового задания был предложен маршрут из 9 точек, одна из которых начальная. Порядок и расположение точек (ППМ маршрута) показано на рис. 4.

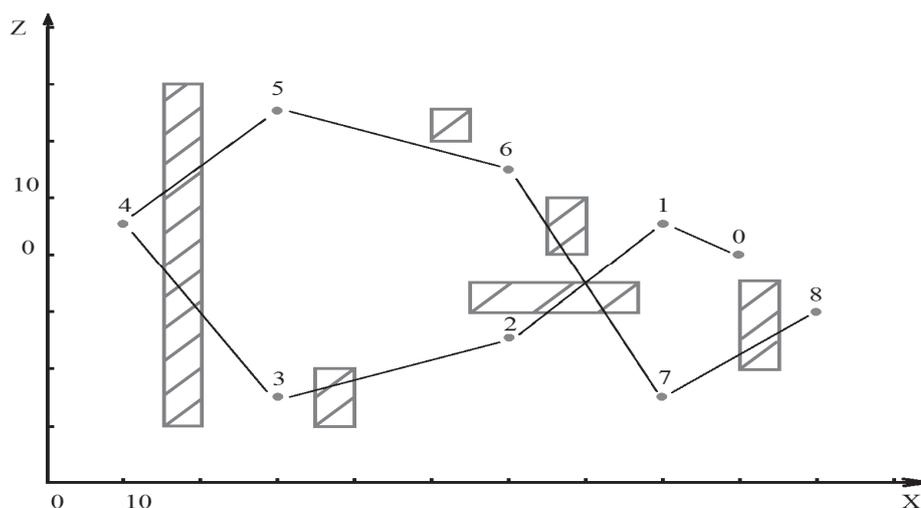


Рис. 4. Иллюстрация препятствий на пути следования ЛА
Fig. 4. The obstacles illustration on the aircraft path

Результат работы алгоритма представлен на рис. 5.

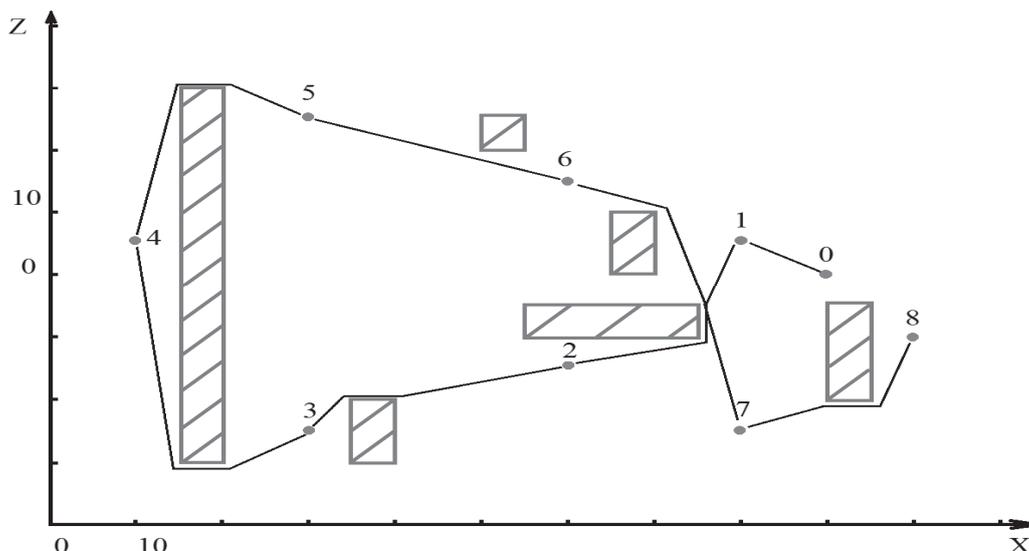


Рис. 5. Результат компьютерного моделирования работы нейросетевого алгоритма облета препятствий
Fig. 5. The result of computer simulation for operation of neural network algorithm of obstacles avoidance

Из рис. 5 видно, что в результате перепланирования новый маршрут успешно обходит все препятствия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большое разнообразие полетных ситуаций по числу встречаемых препятствий требует формирования универсального алгоритма выбора лучшего варианта уклонения, обладающего в то же время высоким быстродействием. Этим требованиям удовлетворяют нейросетевые алгоритмы, на вход которых подаются сигналы в виде координат, характеризующих очередное препятствие и текущее положение летательного аппарата, а на выходе формируется рекомендуемая альтернатива облета препятствия.

В статье приводится разработанный алгоритм, который в реальном времени формирует кусочно-линейную траекторию обхода вершин препятствий.

Компьютерное моделирование маршрутного полета с учетом препятствий показало высокое быстродействие алгоритма, а также способность формировать оперативный репортаж о фактах встречи с препятствием, выборе варианта действий и сообщать координаты вновь назначенных ППМ маршрута для передачи наземным службам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев Г.Н., Мирзоян Л.А. Нейросетевое планирование действий по облету наземных объектов группой летательных аппаратов // Авиакосмическое приборостроение. 2005. № 12.
2. Лебедев Г.Н., Румакина А.В. Нейросетевое планирование маршрута разнорысотного полета беспилотного летательного аппарата // Авиакосмическое приборостроение. 2014. № 5. С. 3–8.
3. Лебедев Г.Н., Румакина А.В. Система логического управления обходом препятствий беспилотным летательным аппаратом при маршрутном полете // Электронный журнал «Труды МАИ». 2015. № 83.
4. Нейросетевая реализация автоматического управления безопасной посадкой беспилотного летательного аппарата / А.В. Кузин, Д.В. Курмаков, А.В. Лукьянов, Д.А. Михайлин // Электронный журнал «Труды МАИ». 2013. № 70.

5. Лебедев Г.Н., Малыгин В.Б., Нечаев Е.Е. Алгоритм назначения приоритетной очередности случайно расположенным в пространстве воздушным судам для выхода на стандартный маршрут прибытия // Научный Вестник МГТУ ГА. 2013. № 198, С. 31–36.
6. Управление полетом пассажирских самолетов при пересечении их маршрутов во время захода на посадку / Г.Н. Лебедев, П.Ч. Тин, М.Т. Зо, А.В. Медведев // Электронный журнал «Труды МАИ». 2013. № 63.
7. Лебедев Г.Н. и др. Теория оптимальных систем. М.: МАИ, 1993. 317 с.
8. Соболев Е.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Наука, 1981. 110 с.
9. Лебедев Г.Н. и др. Планирование работы компьютерных систем индивидуального обучения и повышение их эффективности // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2009. № 11. С. 47–54.
10. Зайцев А.В., Талиманчук Л.Л. Интеллектуальная система принятия решений для оценки научной деятельности на основе многосегментной системы // Нейрокомпьютеры. 2008. № 7. С. 85–88.
11. Лебедев Г.Н., Балашова Н.М. Интеллектуальные системы управления. М.: МГТУ, 2000. 117 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Михайлин Денис Александрович, кандидат технических наук, доцент Московского авиационного института (НИУ), e-mail: tau_301@mail.ru.

NEURAL NETWORK ALGORITHM SAFE OVERFLIGHT AERIAL OBSTACLES AND PROHIBITED LAND AREAS

Denis A. Mikhaylin¹

¹Moscow Aviation Institute (national research university), Moscow, Russia

The article presents the algorithm of safe flying around obstacles when making en route flight of manned and unmanned aircraft. The analysis of obstacles in the path of the aircraft is carried out. It is shown that the application of neural networks for this problem solving allows to increase the control system performance and total flight safety. It is proved by modelling. The multilayer network consistent distribution is proposed to be used as neural network structure. In this work a neural network with three layers is used. To solve the problem the aircraft movement in plan is considered. It is important to have data on the Z coordinates of the obstacles vertices. Finally the number of neural network inputs was determined to be four. The number of alternatives, determining the number of neural network outputs is respectively five. As the continuing of the aircraft flight along the original route is possible, as a result, a training sample is in the form of a chart. After training the neural network simulations of its work were made. Obstacles have been formed in advance.

Key words: neural network, flight safety, aircraft, route.

REFERENCES

1. Lebedev G.N., Mirzojan L.A. *Neyrosetevoe planirovanie dejstviy po obletu nazemnykh obektov gruppy letatelnykh apparatov* [Neural network action planning to fly around ground objects by a group of aircraft]. *Aviakosmicheskoe priborostroenie*, 2005, no. 12. (in Russian)
2. Lebedev G.N., Rumakina A.V. *Neyrosetevoe planirovanie marshruta raznovyisotnogo poleta bespilotnogo letatel'nogo apparata* [Neural network path planning of a vari-level unmanned aircraft]. *Aviakosmicheskoe priborostroenie*, 2014, no. 5, pp. 3–8. (in Russian)
3. Lebedev G.N., Rumakina A.V. *Sistema logicheskogo upravleniya obhodom prep'yatstviy bespilotnyim letatelnyim apparatom pri marshrutnom polete* [The logical control system with obstacle

avoidance of an unmanned aircraft in flight route]. *Elektronnyy zhurnal «Trudy MAI»* [Journal “Trudy MAI”], 2015, no. 83. (in Russian)

4. Kuzin A.V., Kurmakov D.V., Lukyanov A.V., Mihajlin D.A. *Neyrosetevaya realizatsiya avtomaticheskogo upravleniya bezopasnoy posadkoy bespilotnogo letatel'nogo apparata* [The neural network implementation of the automatic control over the safe landing of an unmanned aircraft]. *Elektronnyy zhurnal «Trudy MAI»* [Journal “Trudy MAI”], 2013, no. 70. (in Russian)

5. Lebedev G.N., Malygin V.B., Nechaev E.E. *Algoritm naznacheniya prioritetnoy ocherednosti sluchayno raspolozhennyim v prostranstve vozduzhnyim sudam dlya vyihoda na standartnyy marshrut pribytiya* [The algorithm used to assign the priority sequence randomly located in space aircraft for exit to the standard arrival route]. *The Scientific Bulletin of MSTUCA*, 2013, no. 198, pp. 31–36. (in Russian)

6. Lebedev G.N., Tin P.Ch., Zo M.T., Medvedev A.V. *Upravlenie poletom passazhirskih samoletov pri peresechenii ih marshrutov vo vremya zahoda na posadku* [Flight control passenger aircraft crossing their routes during landing]. *Elektronnyy zhurnal «Trudy MAI»*, 2013, no. 63. (in Russian)

7. Lebedev G.N. et al. *Teoriya optimalnykh sistem* [The theory of optimum systems]. Moscow, MAI, 1993, 317 p. (in Russian)

8. Sobol E.M., Statnikov R.B. *Vybor optimalnykh parametrov kompyuternykh sistem individual'nogo obucheniya i povysheniya ih effektivnosti* [The selection of the optimum parameters in tasks with many criteria]. Moscow, Science, 1981, 110 p. (in Russian)

9. Lebedev G.N. et al. *Planirovanie raboty kompyuternykh sistem individual'nogo obucheniya i povysheniya ih effektivnosti* [Planning of the work of the computer systems of individual training and an increase in their effectiveness]. *The Bulletin of Computer and Information Technologies*, 2009, no. 11, 47–54 pp. (in Russian)

10. Zaytsev A.V., Talimanchuk L.L. *Intellektual'naya sistema prinyatiya resheniya dlya otsenki nauchnoy deyatel'nosti na osnove mnogosegmentnoi sistemy* [Intellectual system of decision making for evaluating the scientific activity on the basis of the multisegment system]. *Neurocomputers*, 2008, no. 7, 85–88 pp. (in Russian)

11. Lebedev G.N., Balashov N.M. *Intellektualnye sistemy upravleniya* [Intellectual systems for control]. M., MGGU, 2000. 117 p. (in Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHOR

Denis A. Mikhaylin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Moscow Aviation Institute (National Research University), tau_301@mail.ru.

Поступила в редакцию 28.02.2017
Принята в печать 25.05.2017

Received 28.02.2017
Accepted for publication 25.05.2017