

Научная статья

УДК 518.517

MSC 03C07, 03C60

DOI <https://doi.org/10.26516/1997-7670.2023.39.1>

Полилинейные интегральные уравнения Вольтерра I рода: элементы теории и численные методы

И. И. Иванов^{1,2,4}, П. П. Петров^{1,2,3✉}

¹ Иркутский государственный университет, Иркутск, Российская Федерация

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Российская Федерация

³ Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Российская Федерация

⁴ Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

✉ petrov@math1.isu.ru

Аннотация. Рассмотрены мультифункции на двухэлементном множестве вместе с операторами суперпозиции и разветвления по предикату равенства. Оператор суперпозиции основан на пересечении множеств. Основная цель работы — описание всех замкнутых относительно рассматриваемых операторов классов. Оператор разветвления по предикату равенства позволяет поставленную задачу свести к описанию всех замкнутых классов, порожденных мультифункциями от двух переменных. Показано, что решетка замкнутых относительно рассматриваемых операторов классов содержит 237 элементов, что расширяет известный результат о всех замкнутых классах частичных функций на двухэлементном множестве. Для каждого замкнутого класса указано порождающее множество.

Ключевые слова: мажорантные уравнения, функция Ламберта, нелинейные интегральные неравенства, неупрощаемые оценки, численные методы

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 00–00–00000).

Ссылка для цитирования: Иванов И. И., Петров П. П. Полилинейные интегральные уравнения Вольтерра I рода: элементы теории и численные методы // Известия Иркутского государственного университета. Серия Математика. 2023. Т. 39. С. 1–5. <https://doi.org/10.26516/1997-7670.2023.39.1>

Research article

Multilinear Integral Volterra Equations of the First Kind: the Elements of the Theory and Numeric Methods

Ivan I. Ivanov^{1,2,4}, Petr P. Petrov^{1,2,3✉}

¹ Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

³ Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

⁴ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

✉ petrov@math1.isu.ru

Abstract: The paper considers multifunctions on a two-element set with superposition and the equality predicate branching operator. The superposition operator is based on the intersection of sets. The main purpose of the work is to describe all closed classes with respect to the considered operators. The equality predicate branching operator allows the task to be reduced to a description of all closed classes generated by 2-variable multifunctions. Using this, it is shown that the lattice of classes closed with respect to the considered operators contains 237 elements. A generating set is specified for each closed class. The result obtained in the paper extends the known result for all closed classes of partial functions on a two-element set.

Keywords: differential equations, optimal control, singular equations

Acknowledgements: The research was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project No.).

For citation: Ivanov I. I., Petrov P. P. Integral Volterra Equations of the First Kind: the Elements of the Theory and Numeric Methods. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Mathematics*, 2023, vol. 39, pp. 1–5. <https://doi.org/10.26516/1997-7670.2023.39.1>

1. Введение

Текст введения.

2. Специфика полулинейных уравнений Вольтерра I рода

Полагая в (4) $N = 1, 2, 3$, выпишем последовательно

Определение 1. *Текст определения*

\bar{x} 123456789

Теорема 1. *Формулировка теоремы*

Доказательство. Текст доказательства

□

Из теоремы 1 следует

Теорема 2. *Формулировка теоремы*

Из теоремы 2 следует

Теорема. *Формулировка теоремы без номера*

$$x + y^2 = \ln x \quad (2.1)$$

Подставив в формулу (2.1) вместо x переменную y получим

$$y + y^2 = \ln y \quad (2.2)$$

По формуле (2.2)

Лемма 1. *Формулировка леммы*

Лемма. *Формулировка леммы без номера*

Утверждение 1. *Текст утверждения*

Предложение 1. *Текст предложения*

Следствие 1. *Текст следствия*

Замечание 1. Текст замечания

Учитывая замечание 1

Пример 1. Текст примера

Задача 1. Формулировка задачи

Алгоритм 1. Описание алгоритма

Таким образом, даже в случае постоянных ядер непрерывное решение билинейного уравнения существует...

Используя обозначения из [1; 2; 3]...

3. Заключение

Как уже было показано в [3], выбор формальной нормальной формы в виде сдвига за единичное время вдоль векторного поля позволяет впоследствии простым путем получить необходимые и достаточные условия включаемости в поток. И тем самым установить связь между аналитическими классификациями отображений и векторных полей.

4. Оформление затекстовых библиографических ссылок.

Список источников нумеруют и располагают в алфавитном порядке, сначала на русском языке, затем на латинице. В списке источников на

латинице (References) порядок сохраняется. Список источников следует оформлять в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. Во всех случаях, когда у цитируемого материала есть цифровой идентификатор (Digital Object Identifier — DOI), его необходимо указывать в самом конце библиографической ссылки в виде полноценной гиперссылки. Правила оформления источников в списках литературы на латинице (References) опубликованы на сайте нашего журнала <http://mathizv.isu.ru/ru/page/regulations>

Список источников

1. Тарасов В. В. Критерий полноты для не всюду определенных функций алгебры логики // Проблемы кибернетики. М. : Наука, 1975. Вып. 30. С. 319–325.
2. Яблонский С. В. О суперпозициях функций алгебры логики // Мат. сб. 1952. Т. 30. № 2(72). С. 329–348.
3. Emel'yanov D. Yu., Kulpeshov B. Sh., Sudoplatov S. V. Algebras of distributions for binary formulas in countably categorical weakly o-minimal structures // Algebra and Logic. 2017. Vol. 56, N. 1. P. 13–36. <https://doi.org/10.17377/alglog.2017.56.102>

References

1. Tarasov V.V. Completeness Criterion for Partial Logic Functions. *Problemy Kibernetiki*, Moscow, Nauka, 1975, vol. 30, pp. 319–325. (in Russian)
2. Yablonskij S.V. On the Superpositions of Logic Functions. *Mat. Sbornik*, 1952, vol. 30, no. 2(72), pp. 329–348. (in Russian)
3. Emel'yanov D.Yu., Kulpeshov B.Sh., Sudoplatov S.V. Algebras of distributions for binary formulas in countably categorical weakly o-minimal structures. *Algebra and Logic*, 2017, vol. 56, no. 1, pp. 13–36. <https://doi.org/10.17377/alglog.2017.56.102>

Об авторах

Иванов Иван Иванович, д-р физ.-мат. наук, проф., Иркутский государственный университет, Иркутск, 664003, Российская Федерация, avtor@math.isu.ru, <https://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx>

Петров Петр Петрович, канд. физ.-мат. наук, доц., Новосибирский государственный технический университет, 630073, Российская Федерация, Новосибирск, petrov@math1.isu.ru, <https://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx>

About the authors

Ivan I. Ivanov, Dr. Sci. (Phys.–Math.), Prof., Irkutsk State University, Irkutsk, 664003, Russian Federation, avtor@math.isu.ru, <https://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx>

Petr P. Petrov, Cand. Sci. (Phys.Math.), Assoc. Prof., Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, petrov@math1.isu.ru, <https://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx>

Поступила в редакцию / Received2023
Поступила после рецензирования / Revised2023
Принята к публикации / Accepted2023