

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Е.А. Васильева

ekaterina26v@gmail.com

SPIN-код: 5396-9369

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Исследована проблема автономного контроля сельскохозяйственного сектора, для решения которой предложено использовать группу роботов. Определена подходящая стратегия группового управления. Рассмотрена задача обнаружения угнетенных участков полей с помощью беспилотных летательных аппаратов. Для распознавания образов и приведения объектов к семантическим моделям выбрана комбинация методов на основе предварительно обученной нейронной сети VGG16, разработанной группой ученых из Оксфорда, и алгоритма машинного обучения SVM (метод опорных векторов). Разработан алгоритм распознавания и классификации образов, а также программное обеспечение, реализующее этот алгоритм. Предложенный алгоритм написан на языке программирования Python. Приведено описание алгоритма распознавания образов и представлены результаты тестирования эффективности работы разработанной системы. Установлено, что формирование семантических моделей внешней среды позволит существенно повысить эффективность решения навигационных задач при автономном управлении группой роботов.

Ключевые слова

Техническое зрение, беспилотный летательный аппарат, групповое управление, распознавание образов, машинное обучение, классификация изображений, нейронная сеть, алгоритм SVM

Поступила в редакцию 22.06.2018

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Введение. В настоящее время разработка и внедрение технологий специализированных робототехнических комплексов (РТК) на основе группового управления является одним из приоритетных направлений, используемых при создании новых и модернизации уже существующих РТК [1]. Задача группового управления заключается в отыскании и реализации таких действий каждого отдельного робота группы, которые приводят к оптимальному с точки зрения некоторого критерия достижению общей групповой цели. В системах группового управления реализуются методы централизованной и децентрализованной стратегии управления — рис. 1 [2].

В рамках данного исследования выбор был остановлен на централизованном методе управления как на наиболее оптимальном для решения задач малой группой роботов.



Рис. 1. Стратегии группового управления

Существующие технологии сельского хозяйства имеют ряд недостатков, влияющих на производительность сельскохозяйственного сектора и негативно сказывающихся на экологии [3], что ведет к востребованности в сельскохозяйственном секторе технологий автоматизированного управления, а также использования группы роботов.

На сегодняшний день производительность труда в РФ в среднем в 2,5 раза ниже европейской и в 3,5 раза ниже американской, в то время как зарубежное тракторостроение значительно опережает отечественное по выпуску экипажно-безэкипажных средств механизации сельхоз сектора [4]. Над робототехническими системами для нужд сельского хозяйства уже давно работает множество иностранных компаний, таких как Agribotix, Blue River Technologies, John Deere и др.

Круг задач в области применения робототехники в сельском хозяйстве очень велик. Основными операциями при ведении любого вида сельскохозяйственной деятельности являются вывоз необходимых транспортных средств по специализированным дорогам к месту выполнения работ и непосредственно сами технологические операции на полях. Использование автономных транспортных средств, а также современных технологий и методов управления группами позволят исключить человеческий фактор и не допускать нерационального использования, ведущего к перерасходу ресурсов или перегрузке техники. Для полноценного решения задач в условиях частичного или полного отсутствия исходной информации о среде функционирования требуется создание средств повышенной автономности [5], для чего необходим эффективный сбор и анализ данных об окружающем пространстве. Формирование семантических моделей (объединения фрагментов в группы) внешней среды позволит существенно сократить объемы хранимой и обрабатываемой зрительной информации и повысить эффективность решения навигационных задач при автономном управлении как отдельными роботами, так и их группами.

Разработка алгоритма системы технического зрения. Дефекты при посеве, гибель растений и другие факторы требуют оперативного контроля. Большинство оценок выполняют наземным путем при выезде на поля экспертных групп. С плоскости очень сложно оценить весь масштаб происшествия. На сегодняшний день сбор и анализ данных осуществляются с помощью беспилотных летательных аппаратов, оснащенных системой технического зрения.

Целью данного исследования является разработка алгоритма системы технического зрения для семантического анализа изображений при групповом управлении роботами в сельском хозяйстве.

В рамках алгоритма необходимо решать следующие задачи:

- 1) распознавание объектов;
- 2) приведение объектов к семантическим моделям внешней среды.

Для решения задач классификации существует множество методов [6]. Был проведен сравнительный анализ алгоритмов и для более эффективной работы выбрана комбинация алгоритмов на основе предобученной нейронной сети VGG16 и алгоритма машинного обучения SVM.

Нейронная сеть VGG16. VGG16 — это сверточная нейронная сеть, которая содержит 16 слоев [7]. Сеть состоит из двух частей:

- 1) первая часть сети выделяет характерные признаки в изображении;
- 2) вторая часть отвечает за классификацию объекта на изображении по выделенным на предыдущем этапе признакам.

На вход сеть VGG16 получает изображение размером 224×224 пиксела, 3 канала цвета (красный, зеленый и синий). На выходе сеть выдает вероятности (в формате one-hot encoding) того, что объект на изображении принадлежит тому или иному классу. Архитектура сети показана на рис. 2.

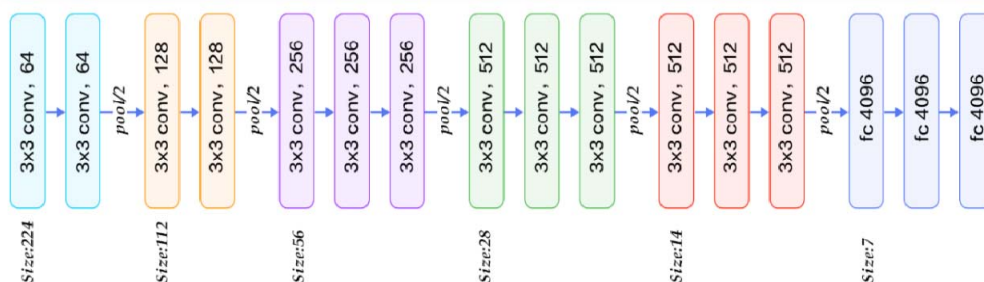


Рис. 2. Структура нейронной сети VGG16

Сверточная часть сети VGG16 состоит из пяти каскадов свертки (Size224, Size112, Size56, Size28, Size14) и подвыборки (Size7). В первых двух каскадах (Size224, Size112) используются по два слоя свертки (3×3 conv) и слой подвыборки (pool/2) с выбором максимального значения (max pooling). На трех следующих каскадах (Size56, Size28, Size14) по три слоя свертки (3×3 conv) и один слой подвыборки (pool/2) [8]. Размер ядер во всех слоях свертки 3×3.

Полносвязная часть сети (Size7) VGG16 включает три уровня (fc4096 — fc4096 — fc4096). На выходном уровне 4096 нейронов по числу классов объектов. Используется формат one-hot encoding: значение только одного выходного нейрона должно быть близко к единице, остальные близки к нулю. Класс объекта на картинке соответствует нейрону, значение которого близко к единице. Перед выходным слоем в сети VGG16 есть еще два полносвязных слоя по 4096 нейронов.

Алгоритм SVM. Метод опорных векторов (Support Vector Machine) — один из методов семейства линейных классификаторов, который применяется в задачах бинарной классификации (когда объект может принадлежать одному из двух классов).

В рамках данного метода каждый объект данных можно представить как вектор (точка) на p -мерном пространстве (упорядоченный набор p чисел). Каждая из этих точек принадлежит только одному из двух классов. Задача состоит в том, чтобы найти такую гиперплоскость размерностью $(p - 1)$ так, чтобы расстояние от нее до ближайшей точки было бы максимально [9]. Формально задачу можно описать следующим образом. Имеется набор из n точек (объектов выборки):

$$\{(x_1, c_1), (x_2, c_2), \dots, (x_n, c_n)\},$$

где c_i принимает значения 1 или -1 и обозначает принадлежность точки x_i к одному из двух классов. Каждая точка x_i представляет собой вещественный вектор размерности p . Строят разделяющую гиперплоскость вида

$$wx - b = 0,$$

где вектор w — перпендикулярен к разделяющей гиперплоскости.

Параметр $\frac{b}{\|w\|}$ равен по модулю расстоянию от гиперплоскости до начала координат; если параметр b равен нулю, то гиперплоскость проходит через начало координат [10]. Если объекты обучающей выборки являются линейно разделимыми, то можно выбрать две параллельные гиперплоскости таким образом, что они разделят множество точек на два класса и точек между ними не будет. Область, ограниченная этими двумя гиперплоскостями, называют разностью. Эти гиперплоскости могут быть описаны уравнениями (с точностью до нормировки):

$$wx - b = 1;$$

$$wx - b = -1.$$

Используя геометрию, находят расстояние между гиперплоскостями: $-\frac{2}{\|w\|}$.

Таким образом, чтобы максимизировать расстояние между плоскостями, необходимо минимизировать $\|w\|$.

Чтобы исключить все точки из полосы, необходимо убедиться, что для всех i

$$wx_i - b \geq 1 \text{ для } c_i = 1;$$

$$wx_i - b \leq -1 \text{ для } c_i = -1,$$

что эквивалентно $c_i(wx_i - b) \geq 1, 1 \leq i \leq n$.

Далее решают задача оптимизации:

$$\|w\| \rightarrow \min;$$

$$c_i(wx_i - b) \geq 1 \text{ для } 0 \leq i \leq n.$$

Алгоритм распознавания изображений. В данной работе предложено заменить полносвязную часть сети VGG16 новым классификатором SVM (Size7), который устроен гораздо проще полносвязной части нейронной сети. На его выходе формируются 5 классов (fc5). Структура алгоритма представлена на рис. 3.



Рис. 3. Структура модифицированного алгоритма

Для тестирования было использовано по 150 изображений в обучающей и тестовой выборках. Всего было 5 классов. Каждому классу соответствовало 30 изображений в обучении и тесте соответственно. Разработана программа на языке Python, в которой представлены следующие этапы работы алгоритма:

- 1) считывание изображений из обучающей и тестовой выборок и преобразование их в необходимый формат (изменение размера изображений для их подачи на вход нейронной сети);
- 2) обучение сети VGG16;
- 3) формирование функции, возвращающей признаковое описание для каждого изображение в виде массива;
- 4) передача массива на вход алгоритма SVM и классификация изображений.

Выводы. В проделанной работе проведен анализ основных алгоритмов обнаружения и распознавания объектов. По результатам анализа выбрана комбинация алгоритмов на основе предобученной нейронной сети VGG16 и алгоритма машинного обучения SVM. Алгоритм реализован на языке Python с использованием библиотеки Tensorflow. По итогам тестирования качество алгоритма оказалось достаточно хорошим для эффективного распознавания изображений.

Литература

- [1] Каляев И.А., Рубцов И.В. Боевым роботам нужна программа. *Национальная оборона*, 2012, № 8(77), с. 34–48.
- [2] Шеремет И.Б., Рудианов Н.А., Рябов А.В., Хрущев В.С., Комченков В.И. Обоснование семейства боевых и обеспечивающих роботов для боя в городе. *Известия ЮФУ. Технические науки*, 2012, № 3(128), с. 31–41.

-
- [3] Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. *Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов*. Москва, Физматлит, 2009, 278 с.
- [4] Рубцов И.В., Машков К.Ю., Наумов В.Н. 185 лет МГТУ им. Н.Э. Баумана – Состояние и перспективы развития специальной робототехники. *Сб. мат. 10й Всеросс. науч.-практ. конф. Перспективные системы и задачи управления*, 2015, № 1, с. 247–255.
- [5] Dobbs T. Farms of the future will run on robots and drones.
URL: <http://www.pbs.org/wgbh/nova/next/tech/farming-with-robotics-automation-and-sensors/> (дата обращения 27.05.2018).
- [6] Местецкий Л.М. *Математические методы распознавания образов*.
URL: <http://www.cs.ru/frc/papers/mestetskii04course.pdf> (дата обращения 27.05.2018).
- [7] Тархов Д.А. *Нейросетевые модели и алгоритмы*. Москва, Радиотехника, 2014, 352 с.
- [8] Chen L.-C., Papandreou G., Kokkinos I., Murphy K., Yuille A.L. DeepLab: semantic image segmentation with deep convolutional nets, atrous convolution, and fully connected CRFs. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2018, vol. 40, no. 4, pp. 834–848.
- [9] Cristianini N., Shawe-Taylor J. *An introduction to support vector machines and other kernel-based learning methods*. Cambridge University Press, 2000, 204 p.
- [10] Вапник В.Н. *Восстановление зависимостей по эмпирическим данным*. Москва, Наука, 1979, 448 с.

Васильева Екатерина Андреевна — студентка кафедры «Специальная робототехника и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Рубцов Василий Иванович — кандидат технических наук, доцент кафедры «Специальная робототехника и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

DEVELOPING THE ALGORITHM OF THE MACHINE VISION SYSTEM FOR THE IMAGES SEMANTIC ANALYSIS

E.A. Vasileva

ekaterina26v@gmail.com

SPIN-code: 5396-9369

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article investigates the problem of controlling the agricultural sector autonomously and suggests using a group of robots in order to solve this problem. We determine an appropriate strategy of group control. The authors consider the task of detecting the oppressed parts of fields with the help of unmanned aerial vehicles. In order to recognize the images and reduce the objects to semantic models we select a combination of methods based on the pretrained neural network VGG16 developed by a group of scientists from Oxford and the machine-learning algorithm SVM (Support Vector Machine). We have developed a pattern recognition and classification algorithm as well as the software implementing this algorithm. The suggested algorithm is written in the computer programming language Python. The article describes the pattern recognition algorithm and introduces the results of testing the operational efficiency of the developed system. It is established that the development of the external environment's semantic models may significantly increase the efficiency of solving the navigation problems when controlling a group of robots autonomously.

Keywords

Machine vision, unmanned aerial vehicle, group control, pattern recognition, machine learning, pattern classification, neural network, algorithm SVM

Received 22.06.2018

© Bauman Moscow State Technical University, 2018

References

- [1] Kalyaev I.A., Rubtsov I.V. Combat robots need a program. *Natsional'naya oborona*, 2012, no. 8(77), pp. 34–48.
- [2] Sheremet I.B., Rudianov N.A., Ryabov A.V., Khrushchev V.S., Komchenkov V.I. Justification of combat and support a family of robots to fight in the city. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, no. 3(128), pp. 31–41.
- [3] Kalyaev I.A., Gayduk A.R., Kapustyan S.G. Modeli i algoritmy kollektivnogo upravleniya v gruppakh robotov [Models and algorithms of collective control in robot groups]. Moscow, Fizmatlit publ., 2009, 278 p.
- [4] Rubtsov I.V., Mashkov K.Yu., Naumov V.N. 185 let MGTU im. N.E. Baumana – Sostoyanie i perspektivy razvitiya spetsial'noy robototekhniki [185th anniversary of Bauman MSTU – present state and prospects of special robotics development]. *Sb. mat. 10y Vse-ross. nauch.-prakt. konf. Perspektivnye sistemy i zadachi upravleniya* [Proc. 10th Russ. Sci.-Pract. Conf. “Perspective control systems and problems”], 2015, no. 1, pp. 247–255.
- [5] Dobbs T. Farms of the future will run on robots and drones. Available at: <http://www.pbs.org/wgbh/nova/next/tech/farming-with-robotics-automation-and-sensors/> (accessed 27 May 2018).

- [6] Mestetskiy L.M. Matematicheskie metody raspoznavaniya obrazov [Mathematical methods of image recognition]. Available at: <http://www.cs.ru/frc/papers/mestetskii04course.pdf> (accessed 27 May 2018).
- [7] Tarkhov D.A. Neyrosetevye modeli i algoritmy [Neural network models and algorithms]. Moscow, Radiotekhnika publ., 2014, 352 p.
- [8] Chen L.-C., Papandreou G., Kokkinos I., Murphy K., Yuille A.L. DeepLab: semantic image segmentation with deep convolutional nets, atrous convolution, and fully connected CRFs. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2018, vol. 40, no. 4, pp. 834–848.
- [9] Cristianini N., Shawe-Taylor J. An introduction to support vector machines and other kernel-based learning methods. Cambridge University Press, 2000, 204 p.
- [10] Vapnik V.N. Vosstanovlenie zavisimostey po empiricheskim dannym [Relations restoration using empirical data]. Moscow, Nauka publ., 1979, 448 p.

Vasileva E.A. — student, Department of Robotics and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — V.I. Rubtsov, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Robotics and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.