

УДК 004.896

## КЛАССИФИКАЦИЯ ДОРОЖНЫХ СИТУАЦИЙ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Н.В. Ким (*nkim2011@list.ru*),

П.Д. Прохоров (*prokhorov\_pd@mail.ru*),

Н.Е. Бодунков (*boduncov63@yandex.ru*)

Московский авиационный институт (национальный  
исследовательский университет) (МАИ)

**Аннотация.** В статье рассматривается использование беспилотных летательных аппаратов для автоматического мониторинга дорожного движения. Предложена методика классификации дорожных ситуаций по изображениям, полученных после дорожно-транспортного происшествия. Разработана иерархическая структура описания дорожной ситуации, наблюдаемой после произошедшего дорожно-транспортного происшествия. Для принятия решений о классе ситуаций предложено использовать продукционную модель представления знаний и соответствующую базу знаний. Приведен пример классификации ситуации по реальному изображению дорожного происшествия;

**Ключевые слова:** мониторинг дорожного движения, беспилотный летательный аппарат, транспортное происшествие, классификация ситуаций.

### Введение

В последнее время широкое внимание уделяется разработке алгоритмов и программ для обнаружения и оценки параметров движения транспортных средств с помощью беспилотных летательных аппаратов (БЛА) [Ashraf, 2011], [Kim, 2015a]. Использование БЛА для автоматического мониторинга дорожного движения может обеспечить существенное повышение пропускной способности дорожного движения, оптимизацию мероприятий по устранению последствий дорожно-транспортных (ДТП) происшествий, сокращению потерь, сопутствующих происшествиям и пр.

Целью статьи является разработка методики классификации (распознавания) дорожных ситуаций на основе анализа наблюдаемой сцены, полученной на борту БЛА после случившегося события.

Для оценки и прогноза развития возникших дорожных ситуаций требуется классификации этих ситуаций [Горелик, 2004]. В частности, для определения необходимых мероприятия при ликвидации их последствий.

В работе рассматривается способ классификации на основе выделения и анализа признаков (атрибутов) ситуации. Под признаками понимается наличие объектов интереса (например, транспортные средства и пешеходы) на сцене, их характеристики, а также отношения между ними, существенные для данной ситуации [Поспелов, 1986].

Следовательно, важным вопросом классификации является формирование описаний ситуаций, в которых должна содержаться информация, необходимая для принятия обоснованных решений. Предлагаемая методика основана на использовании онтологий [Liang, 2012], [Oberle, 2009] при описании ситуаций, а также применении каузальных отношений для вывода решений при классификации ситуаций.

## **1 Алгоритм классификации дорожных ситуаций**

В рамках решаемых задач – обеспечения требуемой пропускной способности контролируемого участка дороги, нас интересует классификация, связанная с ликвидацией последствий возникшей ситуации.

Будем считать, что в процессе ликвидации последствий необходимо обеспечить:

- оказание своевременной медицинской помощи пострадавшим,
- минимизацию времени восстановления дорожного движения в штатном режиме,
- снижения возможных потерь, связанных с вызовом средств помощи, которые не соответствуют возникшей ситуации.

Рассмотрим общий алгоритм классификации ситуаций.

На вход алгоритма подается принятое бортовой системой наблюдения (видеокамерой) сцена в виде отдельного изображения или видеопоследовательности.

Выходом алгоритма является решение о предполагаемом классе наблюдаемой ситуации, принятое на основе ее анализа.

Под анализом ситуации в работе понимается выделение объектов интереса, определение их параметров и межобъектных отношений, существенных с точки зрения классификации.

Ниже показана структура алгоритма классификации ситуаций, реализующей принципы анализа ситуации.

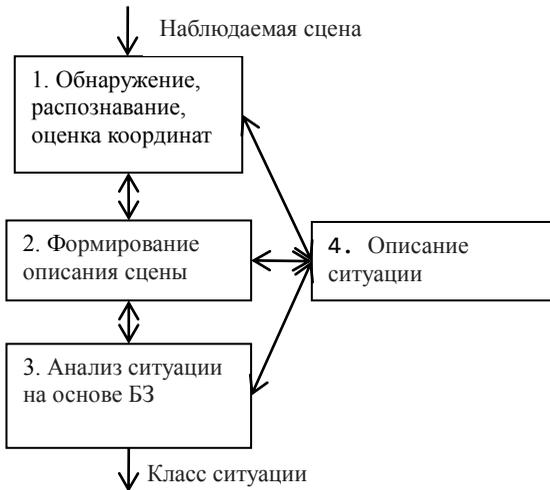


Рис. 1. Структура алгоритма классификации ситуаций

В блок 1 поступает видеоинформация о наблюдаемой сцене. На основе обработки и анализа принятых изображений производится обнаружение, распознавание, оценка положений и параметров объектов интереса. Перечень объектов интереса должен быть определен в блоке 4 (на основе заложенной в него онтологии). Существует множество алгоритмов, позволяющих решить эти задачи [Lienhart, 2002], [Yuping, 2011].

Например, для решения задачи обнаружения пешеходов на видеопоследовательности могут использоваться различные способы: метод Виолы–Джонса (Viola – Jones), корреляционный фильтр (ASEF), метод гистограмм направлений градиентов (HOG) и прочие.

На рисунке 2 приведен пример распознавания пешеходов на кадре видеопоследовательности с помощью HOG-дескрипторов [Dalal, 2005], основанных на подсчете количества направлений градиента в локальных областях изображения.



Рис. 2. (кол-во ложных целей – 2, кол-во пропусков цели – 4)

Метод поддерживает инвариантность геометрических и фотометрических преобразований, за исключением ориентации объекта. Конечным шагом в распознавании объектов с использованием HOG является классификация дескрипторов при помощи системы обучения с учителем, к примеру, метод опорных векторов (SVM, Support Vector Machine).

В блоке 2 на основании полученных данных производится формирование описаний наблюдаемой сцены. При этом общая структура описаний определяется в блоке 4. В результате работы блока формируется описание, содержащее набор фактов, необходимых для классификации ситуации.

В блоке 3 производится анализ ситуации, результатом которого является определение искомого класса дорожной ситуации. Классификацию предлагается проводить на основе каузальной логики [Yurping, 2011], связывающей между собой причины и следствия исследуемых событий, с помощью заранее подготовленной базы знаний (БЗ). Для принятия решения используются факты, полученные из описания, сформированного в блоке 2.

В блоке 4 содержится общее описание ситуаций, определяющее структуру описаний объектов интереса, их свойств (атрибутов) и межобъектных отношений.

В общем случае возникающие чрезвычайные, особые ситуации могут классифицироваться по различным признакам. Например, по

происхождению или скорости развития.

В качестве основного принципа классификации выберем тяжесть последствий возникших дорожных ситуаций также, как в [Ashraf, 2011].

В рамках данного принципа в дорожные ситуации разделятся на 5 классов ( $M = 5$ ).

Класс  $x_1$  соответствует штатной дорожной ситуации.

Возникновение классов особых ситуаций  $x_2, x_3, x_4, x_5$  связано со столкновениями транспортных средств (ДТП):

класс  $x_2$  – особая ситуация, не приводящая к прямым материальным потерям, класс  $x_3$  – особая ситуация, связанная с наличием незначительных материальных потерь. В этих ситуациях вызов специальных служб помощи (для ликвидации последствий происшествий) не требуется;

класс  $x_4$  относится к аварийным ситуациям, сопровождаемым существенными материальными потерями, в частности, повреждениями транспортных средств высокой степени тяжести, но без человеческих жертв. Ситуация требует вызова технической помощи;

ситуация класса  $x_5$  является катастрофической и сопровождается человеческими жертвами. В этой ситуации требуется вызов средств аварийно-спасательной службы, обеспечивающую оказание медицинской помощи.

## 2 Формирование описаний наблюдаемой сцены

На данном этапе необходимо разработать структуру описаний различных возможных ситуаций. Формируемое семантическое описание предназначено для удобства его дальнейшего анализа. При этом получаемые описания должны содержать полезную информацию, позволяющую в дальнейшем классифицировать эти ситуации.

Примем, что формируемые описания должны соответствовать ситуациям, возникающим после ДТП.

Сложность формирования подобных описаний состоит в том, что заранее неизвестно какие описания являются информативными для принятой классификации.

Поэтому на этом этапе структура описаний выбирается на основе экспертных оценок.

Описание носит иерархический характер и в зависимости от уровня иерархии делится на классы, подклассы и разделы различного уровня.

В общем случае могут использоваться различные виды описаний ситуации: пространственные, пространственно-временные, временные, каузальные.

Если предполагаемое решение поставленных задач основано на

анализе расположения объектов интереса, т.е. пространственных отношений между объектами, то целесообразно использовать пространственные описания. В рассматриваемой задаче классификации дорожных ситуаций (по их последствиям) данный вид описаний является наиболее важным.

В дальнейшем будет использоваться двумерное представление описания сцены с учетом направления и расстояния между объектами интереса.

В случае исследования процессов, связанных решением задач слежения за подвижными объектами, как в [Tütinger, 2011], используется пространственно-временное описание ситуации.

Временные описания для рассматриваемой задачи являются не актуальными и в данном исследовании не рассматриваются.

Каузальные описания используются при анализе ситуаций (блок 3, рис. 1).

Описания состоят из следующих классов:

«**Наблюдаемая сцена**» (*Observed Scene*) - общее описание наблюдаемой сцены (время, район наблюдения, условия наблюдения).

«**Объекты ДТП**» (*Objects of TA*) - перечень объектов сцены (автомобилей, людей, препятствий и пр.) и их описания. В свою очередь описания также являются структурированными и содержат подклассы «Люди», «Автомобили» и т.п.

«**Внешние условия**» (*External Conditions*) - описания внешних условиях, которые могут оказывать влияние на возникновение и развитие ДТП (погода, осадки, состояние дороги, особенности дороги).

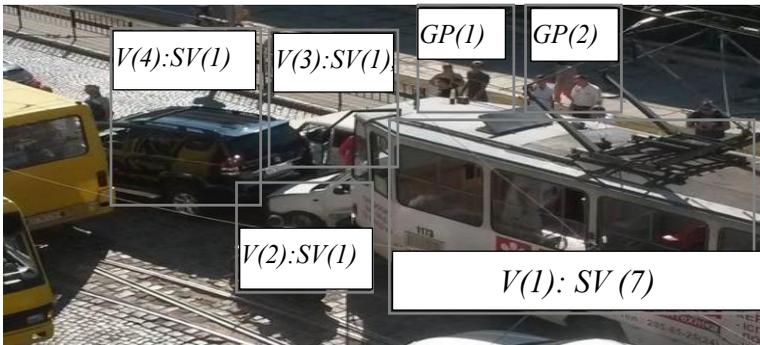


Рисунок 3. Наблюдаемая сцена дорожно-транспортного происшествия

В соответствии с приведенной структурой сформируем описание ситуации на рисунке 3. На рисунке отмечены некоторые объекты участвующие в описании: трамвай («*V(1)*»), автомобили («*V(2)*»), «*V(3)*»),

« $V(4)$ »), группы людей (« $GP(1)$ », « $GP(2)$ ») и некоторые их свойства (тип объекта и состояние). Ниже представлен фрагмент описания наблюдаемой сцены в соответствии с предлагаемой структурой:

“Observed Scene”:

(FN(5777);TD(16-00);RN(3444);FD(7));

“Objects of TA”:

General Description: State: (SP(8)^SV(6)^R(1));

People: P(1): (State: PC(x:..., y:...)... ; SP(0)^B(N)^... );

P(2): (State: PC(x:..., y:...)... ; SP(0)^ B(N)^... );...

Relations: GP(P(1) ^ P(2)): (B(N) ^St());

GP(P(3) ^ P(4) ^ P(5)): (B(N)^St());...

Vehicles: V(1): (State: PC(x:..., y:...)... ;SV(7)^ B(N)^D(R:1) );

V(2): (State: PC(x:..., y:...)... ; SV(1)^ B(Un) ^D(R:7) ); ...

Relations: GV(V(1)^V(2)): (D(1)^L(0));..

“External Conditions”:

Weather: (Wm); Road Conditions: ((Dr); Visibility(3); ...);

где

$FN(...)$  – номер кадра (файла),  $TD(...)$  – время,  $RN(...)$  – номер наблюдаемого участка дороги;  $FD(...)$  – направление на север (от центра изображения);  $SP(24)$ ,  $SV(7)$ ,  $R(1)$  – количество объектов определенного класса (люди, транспортные средства, дорога соответственно);  $St$ ,  $W$  – состояние: «стоят», «идут», соответственно;  $B(N)$  – состояние ( $N$  – нормальное,  $Un$  – ненормальное,  $Vr$  – не определено);

$GP(P(1)^P(2))$ ,  $GV(V(1)^V(2))$  – группы объектов, в скобках объекты относящиеся к группе (один и тот же объект может относиться к нескольким группам);  $D(7)$ ,  $L(1)$  – направление на объект (в восьмисвязной системе), расстояние до объекта;  $PC(x:..., y:...)$ ,  $VC(x:..., y:...)$  – координаты объектов;

*Weather: (Wm)* – погодные условия: «тепло»; *Dr* – дорожные условия: «Сухо»; *Visibility(5)* – видимость по 5-бальной шкале (0 –отсутствие видимости).

### 3 Анализ ситуаций

В блоке анализа ситуаций содержится база знаний (БЗ), в которой хранится информация об условиях возникновения особых дорожных ситуаций. На вход блока поступает описание текущей сцены, а на выходе – вывод о наиболее достоверном классе ситуаций.

Т.к. некоторые элементы описания представляются в нечеткой форме (например, состояние объектов) для построения БЗ используются нечеткие системы, основанные на нечетких правилах вида:

**if**  $\mu_{A1} \cap \mu_{A2} \dots \mu_{AN}$  **then**  $C = x_i$ ,

где  $A_1, \dots, A_N$  – нечеткие утверждения (например, «поведение людей нормальное», «повреждения автомобилей не видны»),  $\mu_{AN}$  – достоверность нечеткого утверждения,  $C$  – вывод правила (например, вывод о возможном классе ситуации).

На основе имеющихся фактов, полученных из описания ситуации, определяются достоверности правил.

В таблице 1 представлены примеры правил из БЗ.

Таблица 1

	А	В
	ТС(автомобиль) находятся неподвижно на проезжей части дороги и далее дорога свободна	ДТП, класс ситуации $x_2$ или $x_3$ или $x_4$ или $x_5$
	ТС стоят вплотную на проезжей части дороги	класс ситуации $x_1$ или $x_2$ , или $x_3$ или $x_4$ или $x_5$
	Состояние ТС– нормальное (нет видимых повреждений)	класс ситуации $x_1$ , или $x_2$ , или $x_3$
	Состояние ТС – не нормальное (есть видимые повреждения)	класс ситуации $x_3$ или $x_4$ , или $x_5$
	Два ТС стоят вплотную и перпендикулярно друг к другу	ДТП, класс ситуации $x_4$ или $x_5$
	ДТП и одно из ТС повышенной опасности (трамвай)	класс ситуации $x_4$ или $x_5$
	Достоверности $x_n$ и $x_m$ близки и $m \geq n$	класс ситуации $x_m$

Для простоты примем порядок последовательного (по возрастанию номеров) использования условий, совпадающих с имеющимися фактами.

Для удобства поиска соответствующих условий  $A(\dots)$  в “*Description of Observed Scene*” они должны быть описаны по правилам описания наблюдаемой сцены. Например, пункт 5 из таблицы 2 будет соответствовать:

**If**  $(D(1) \wedge L(0))$  **then**  $x_4, x_5$ ;

При этом, для сцены на рисунке 3 достоверности утверждений  $D(1)$  и  $L(0)$  примут соответственно значения «1» и «0.9». Достоверность правила считается как минимальное значение достоверности, входящих в правило нечетких утверждений. Таким образом достоверность правила 5 будет «0.9».

Достоверности класса ситуации рассчитывается как сумма достоверностей правил, относящихся к этому классу:

$$p_{xi} = \sum_{l=1}^L \min(\mu_{A1}, \mu_{A2}, \dots, \mu_{AN}).$$

где  $p_{xi}$  - достоверность  $i$ -го класса,  $L$  - количество правил, относящихся к  $i$ -му классу.

На рассматриваемой сцене присутствует четыре ТС стоящих вплотную (достоверность правила  $2 = 1$ ). Среди них два ТС ( $V(1)^{\wedge}V(2)$ ) расположены перпендикулярно друг к другу (достоверность правила  $5 = 0.9$ ). Одно из ТС участвующих в ДТП повышенной опасности – трамвай (достоверность правила  $6 = 0.9$ ). Таким образом, текущая ситуации с наибольшей достоверностью относится к классам  $x_4$  (с существенными материальными потерями) или  $x_5$  (с пострадавшими).

Достоверности полученных исходов одинаковы. В этом случае для принятия окончательного решения можно использовать правило 7, т.е. принимать наихудший вариант. Таким образом класс текущей ситуации -  $x_5$ .

## Заключение

Новизна представленной работы состоит в том, что здесь рассматривается случай, когда на борту UAV принимаются изображения, содержащие последствия произошедшего инцидента (ТА). Подобная классификация ситуаций часто затруднена отсутствием прямых признаков класса ситуации, например, видимых признаков повреждений транспортных средств или явных признаков, указывающих на наличие пострадавших людей.

Для описания ситуаций, содержащих максимально возможный объем полезной (для принятия решений) информации, разработана соответствующая структура описаний (“Description of Observed Scene”), а в качестве метода принятия решений предложено использовать производственную систему.

## Список литературы

- [Ashraf, 2011] Ashraf Qadir, William Semke, Jeremiah Neubert. “Implementation of an Onboard Visual Tracking System with Small Unmanned Aerial Vehicle (UAV).” International Journal of Innovative Technology & Creative Engineering (issn:2045-8711), Vol.1, No.10, October, 2011.
- [Dalal, 2005] N. Dalal and B. Triggs, “Histogram of Oriented Gradients for Human Detection,” Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 2005.
- [Feng, 2009] Lin Feng, Lum Kai-Yew, Chen Ben M., Lee Tong H. “Development of a vision-based ground target detection and tracking system for a small unmanned helicopter.” Science in China Series F: Information Sciences, 2009, Springer.
- [Kim, 2014] Kim N., Bodunkov N. «Computer Vision in Advanced Control Systems: Innovations in Practice», Volume 2, Editors M. Favorskaya, Lakhmi C. Jain, Springer 2014. – 295 p.
- [Kim, 2015a] Kim N., Chervonenkis M. “Situational control unmanned aerial vehicles

- for traffic monitoring.” *Modern Applied Science*, Vol. 9, No. 5, May 2015, Special Issue//Canadian Center of Science and Education.ISSN (printed): 1913-1844. ISSN (electronic): 1913-1852
- [**Kim, 2015b**] Kim N. Automated Decision Making in Road Traffic Monitoring by on-Board Unmanned Aerial Vehicle System. *Indian Journal of Science and Technology*, Vol 8(S10), December 2015
- [**Liang, 2012**] Liang Li, Shuqiang Jiang, Qingming Huang. “Learning Hierarchical Semantic Description Via Mixed-Norm Regularization for Image Understanding.” *Multimedia, IEEE Transactions ...*> Volume:14, Issue:5, 2012, p. 1401 – 1413.
- [**Lienhart, 2002**] Lienhart, Rainer, and Jochen Maydt. "An extended set of haar-like features for rapid object detection." *Image Processing. 2002. Proceedings. 2002 International Conference on*. Vol. 1. IEEE, 2002.
- [**Oberle, 2009**] Oberle, D., Guarino, N., & Staab, S. (2009) What is an ontology?. In: "Handbook on Ontologies". Springer, 2nd edition, 2009.
- [**Türmer, 2011**] Türmer, S.; Leitloff, J.; Reinartz, P.; Stilla, U. (2011): Evaluation of selected features for car detection in aerial images. *ISPRS Hannover Workshop 2011*, 14.-17. Jun. 2011, Hannover.
- [**Yilmaz, 2006**] Yilmaz, A., Javed, O., and Shah, M. 2006. “Object tracking: A survey.” *ACM Comput. Surv.* 38, 4, Article 13. (Dec. 2006), 45 pages. <http://doi.acm.org/10.1145/1177352.1177355>
- [**Yuping, 2011**] Yuping Lin, Qian Yu, Gérard Medioni. “Efficient detection and tracking of moving objects in geo-coordinates.” *Machine Vision and Applications* (2011), © Springer-Verlag 2010.
- [**Zhang, 2012**] J. Zhang, L. Liu, B. Wang, X. Chen, Q. Wang, and T. Zheng, "High speed automatic power line detection and tracking for a UAV-based inspection," in *International Conference on Industrial Control and Electronics Engineering (ICICEE)*, 2012, pp. 266-269
- [**Горелик, 2004**] Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. М.: Высшая школа, 2004.
- [**Поспелов, 1986**] Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. - М.: Наука, - Гл.ред.физ.-мат.лит. 1986.-288с.