

УДК 004.932.72'1

С. Г. Антощук, д-р техн. наук,
Н. В. Коваленко, Н. А. Годовиченко

АВТОМАТИЧЕСКОЕ АННОТИРОВАНИЕ ВИДЕО НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЙ

***Аннотация.** В данной статье предложена система автоматического аннотирования видеоматериала, построенная на основе онтологии предметной области, содержащей словарь, используемый для аннотирования; а также на основе Байесовской сети, используемой для классификации событий и сценариев в видеофрагментах. Предварительное тестирование системы было проведено на наборе тестовых видеопоследовательностей.*

***Ключевые слова:** аннотирование видео, онтологии, байесовская сеть, распознавание событий, семантический поиск, обработка видео, сегментация движения*

S. Antoshchuk, ScD.,
N. Kovalenko, N. Godovichenko

ONTOLOGY BASED AUTOMATIC VIDEO ANNOTATION

***Abstract.** In this paper we present an automatic video annotation system, based on a domain ontology, which contains the lexicon used for the annotation process. A Bayesian Network is also used for the event classification in the video fragments. An initial testing was conducted using a test video dataset.*

***Keywords:** video annotation, domain ontology, Bayesian Network, event recognition, semantic search, video processing, movement segmentation*

С. Г. Антощук, д-р техн. наук,
М. В. Коваленко, М. А. Годовиченко

АВТОМАТИЧНЕ АНОТУВАННЯ ВІДЕО НА БАЗІ ОНТОЛОГІЙ

***Анотація.** У даній статті запропонована система автоматичного анотування відеоматеріалу, побудована на основі онтології предметної області, що містить словник, що використовується для анотування; а також на основі Байєсівської мережі, що використовується для класифікації подій і сценаріїв у відеофрагментах. Попереднє тестування системи було проведено на наборі тестових відеопослідовностей.*

***Ключові слова:** анотування відео, онтології, Байєсівська мережа, розпізнавання подій, семантичний пошук, обробка відео, сегментування руху*

Введение

Бурное развитие программного и аппаратного обеспечения информационных систем и телекоммуникационных технологий за последние годы повысило актуальность мультимедийных приложений в таких областях, как производство и распространение контента, телемедицина, цифровые библиотеки, удаленное обучение, туризм, распределенные системы CAD/CAM, GIS-системы, Интернет-реклама и т.д. Востребованность этих приложений главным образом определяется наглядностью и доступностью представления мультимедийной информации. Однако для их эффективного использования необходимо решить проблему понимания мультимедийной информации и управления большими её объемами.

Для ее решения разрабатываются два типа методов: методы получения данных

с видеопоследовательности (распознавание низкого уровня) и методы семантического описания видеопоследовательности (распознавание высокого уровня). Среди последних важное место занимают методы аннотирования видео. Под аннотированием видео понимают краткое изложение происходящего на видео. Аннотирование мультимедийных данных предоставляет возможность сделать семантическое описание, что облегчает поиск мультимедийных документов по ключевым словам.

Несмотря на многочисленные исследования, которые проводятся во всем мире, семантическое описание, ассоциативный поиск и аннотирование видеоинформации по-прежнему остаётся достаточно сложной для решения задачей.

Это связано с необходимостью учета предметной области и прагматической цели аннотирования, со слабой формализацией информации, представленной на видео, а также с низкой достоверностью выделения

© Антощук С.Г., Коваленко Н.В.,
Годовиченко Н.А., 2015

значимых объектов из-за влияния освещенности, ракурса, масштаба и др.

Для учета влияния этих особенностей в рамках данной работы предлагается осуществлять аннотирование видеoinформации на основе онтологий. Такой подход является актуальным.

Онтологии представляют собой формальную спецификацию знаний о предметной области: они состоят из концептов, свойств концептов и связей между концептами, обычно обозначаемых лингвистическими терминами. Такое представление позволяет обеспечить логическое постоянство аннотаций похожих видео в терминах используемого словаря и способа его использования [1].

В силу этого онтологии могут быть эффективно использованы для проведения семантического анализа мультимедийного контента. При этом аннотирование видео можно выполнить либо вручную, ассоциируя термины из онтологии с индивидуальными элементами в видео, либо автоматически, используя методы обработки изображений и распознавания образов для анализа видео.

Анализ систем семантического анализа видео

Семантическое аннотирование видео с использованием онтологий в последние годы получило широкий интерес [2]. Онтологии считаются подходящим инструментом для преодоления семантического барьера (semantic gap) при анализе мультимедийной информации и перспективным средством для поиска и извлечения интересующего контента с учетом большого количества обрабатываемого видео [3, 4].

Инструмент аннотирования MPEG-7 был разработан компанией IBM и служит для аннотирования видеопоследовательностей с использованием метаданных MPEG-7, основанных на ключевых кадрах [5]. Он не поддерживает онтологические языки и использует редактируемый лексикон, из которого пользователь может выбирать ключевые слова для аннотирования кадров.

В [76] исследователи предложили фреймворк для семантического аннотирования видеособытий, использующий глобаль-

ные и локальные признаки, а также признаки движения.

В другом исследовании был представлен автоматический метод аннотирования видео, использующую онтологию для извлечения и обмена видео в среде умного телевидения [7]. Мультимедийный контент представляется в виде хорошо структурированной онтологии. Визуальные признаки извлекаются из визуальных дескрипторов MPEG-7. Эти признаки ставятся в соответствие полуконцептным значениям. Правила семантического вывода и опорная машина векторов используются для детектирования высокоуровневых концептов.

Еще в одной работе был предложен фреймворк для семантического аннотирования видео в системах видеонаблюдения [8]. Визуальная и текстовая семантики связываются с соответствующими ключевыми словами, предоставляемыми экспертами по предметной области. Сегментация видео проводится для поиска движущихся объектов, которые классифицируются как агенты, действия и получатели. Эти визуальные семантики аннотируются ключевыми словами из онтологии видеонаблюдения.

Другая группа исследователей предложила в [9] устойчивый метод обнаружения движущихся объектов на переднем фоне, в совокупности с интеграцией признаков, собранных из гетерогенных предметных областей.

Большинство существующих исследований фокусируется на извлечении ключевых кадров, классификации объектов и создании аннотации на основе набора признаков, присутствующих выделенным объектам. Системы, занимающиеся распознаванием и аннотированием событий в видео, рассматривают события как наборы векторов признаков, соответствующих последовательности ключевых кадров, что плохо подходит для распознавания человеческих действий, которые имеют вероятностный характер, и которые характеризуются продолжительностью во времени.

В связи с этим в данной работе предлагается система для аннотирования поведения человека в видеопоследовательности, особенностью которой является использование онтологий в качестве модели предметной области и вероятностной Байесовской сети

для учета вероятностного характера извлекаемых из видео данных о значимых объектах.

Общая структура системы аннотирования видео

Традиционный подход к аннотированию видео включает в себя следующие два шага:

– создание экспертом (текстовой) онтологии, в которой концепты и отношения формализованы. В простейших случаях онтология является таксономией, определяющей только семантические категории;

– аннотирование посредством ручного или автоматического установления соответствия между неизвестными видеоклипами и концептами онтологии.

С учетом этого предложена структура для системы автоматического аннотирования мультимедийной информации (рис. 1).

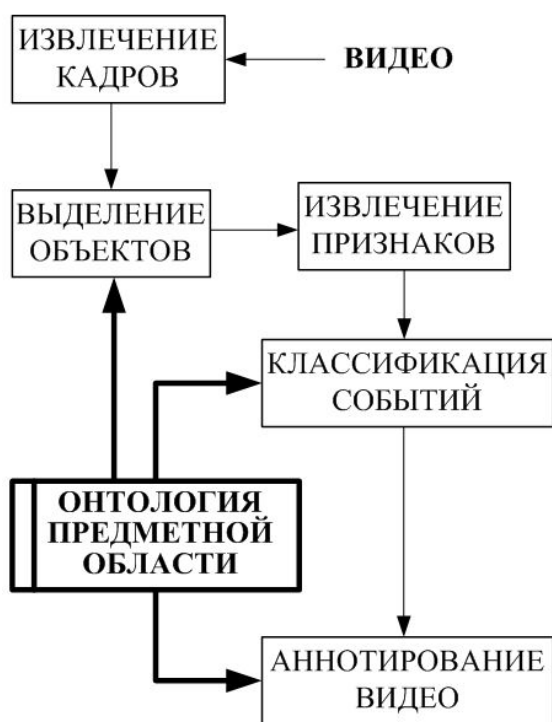


Рис. 1. Структура системы автоматизированного аннотирования мультимедийной информации

Для создания системы автоматического аннотирования видео должны быть решены три главные задачи [10]:

1) извлечение кадров и выделение значимых объектов на видео с целью описания контента, автоматического извлечения

признаков и классификации выделенных объектов;

2) разработка базы знаний в виде онтологии предметной области, написание фреймворков для семантического моделирования видео-концептов;

3) классификация событий с учетом выполнения задач 1 и 2, составление аннотации видео.

Остановимся на каждой из них.

Выделение объектов на видео

Для решения первой задачи видеопоследовательность автоматически сегментируется, выделяются движущиеся объекты на изображении, с последующим извлечением визуальных признаков.

Для выделения движущихся объектов используется метод вычитания фона, осуществляющий отделение объектов переднего плана от статического фона. Данный подход был выбран как показывающий наиболее оптимальное соотношение точность / производительность [11].

Для моделирования заднего фона и обнаружения движущихся объектов используется метод смеси Гауссиан [12], который основан на адаптивном статистическом моделировании интенсивности пикселей. Метод характеризуется устойчивостью к медленным изменениям освещенности, периодическому фоновому шуму, медленно движущимся объектам, долговременным изменениям в сцене и шумам камеры. Несмотря на эти преимущества, метод не способен адаптироваться к быстрым изменениям освещенности и плохо воспринимает тени, в связи с чем в [13] предложено несколько усовершенствований.

Для адаптации метода к резким изменениям освещенности предложено использовать гипотезу о том, что текстура в областях с ложным его срабатыванием, возникшим в результате резкой смены освещенности, должна быть схожей с текстурой на заднем плане.

Для устранения влияния теней вычисляется нормализованная кросс-корреляция интенсивностей каждого пикселя переднего плана между текущим кадром и фоновым изображением.

Для классификации выделенных объектов предложено использовать комбиниро-

ванный классификатор, представляющий объединение *CoHOG* классификатора с популярным каскадом признаков Хаара. Первый классификатор состоит из набора слабых классификаторов *AdaBoost*, использующих в качестве средства получения признаков каскады Хаара. Классификатор позволяет выявлять возможные объекты-кандидаты из входного изображения. Второй классификатор использует *CoHOG*-дескрипторы высокой размерности вместе с линейным *SVM*-классификатором служит для проверки и оценки каждого из обнаруженных первым классификатором кандидатов.

Дескриптор *CoHOG* вычисляется из матриц совместных встречаемостей только для тех образцов, которые успешно проходят через каскад Хаара [14]. Окончательное решение о классификации принимается с использованием машины опорных векторов (*SVM*).

Пример выделения и классификации объектов представлен на рис. 2.

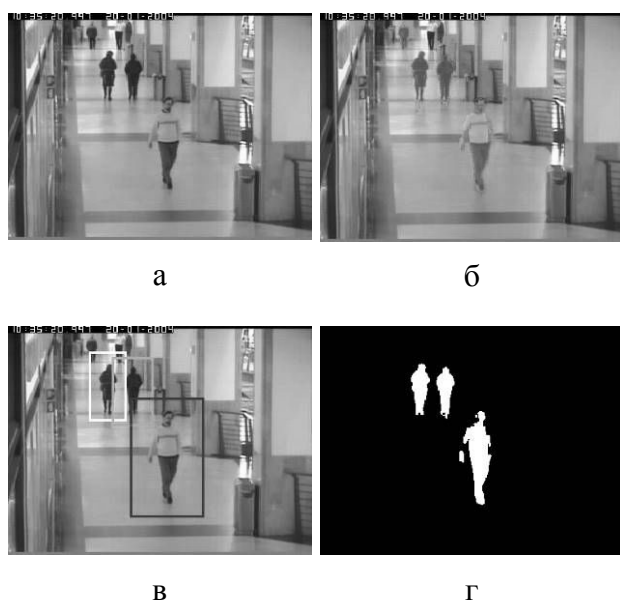


Рис. 2. Пример сегментации и классификации:

- а – начальный кадр; б – определение движения;
- в – классифицированные объекты;
- г – выделенные объекты

После классификации на основании видео извлекается ряд признаков, которые используются для описания разных свойств объектов. Так для каждого объекта определяют его координаты в кадре, скорость, аб-

солютное ускорение, площадь и изменение площади, угол ориентации, направление движения, поток, время жизни, изменение внешнего вида (на основании разницы взвешенных гистограмм ориентированных градиентов), а также аффинные деформации объекта (перемещение, поворот, наклон).

Создание онтологии предметной области

При решении второй задачи для более эффективного представления и интерпретации семантических видео-концептов конструируем зависимую от предметной области онтологию концептов и событий для обеспечения иерархического представления и организации знания о предметной области.

Онтология концептов определяет базовый словарь семантических видео-концептов и их основных свойств, а также их контекстные и логические взаимосвязи. Концепты на самом глубоком уровне иерархии («листья») являются атомарными концептами и используются для интерпретации наиболее явных событий в видео-содержимом.

При разработке онтологии предметной области мы определяем следующий набор классов и подклассов:

- класс *Объект* – представляет собой извлеченный в результате процесса сегментирования объект.
- подкласс *Тип* – описывание тип обнаруженного объекта (например, человек);
- подкласс *Свойство* – визуальные низкоуровневые признаки, присущие идентифицированному объекту;
- подкласс *Роль* – представляет собой роль, выполняемую объектом в описываемой ситуации (например, идущий, бегущий, дерущийся и т.д.);
- подкласс *Состояние*, описывающий состояние, в котором находится объект в описываемой ситуации;
- класс *Событие* – описывает некоторое ограниченное по времени событие, в котором участвуют объекты, находясь в определенных состояниях и выполняющие определенные роли;
- класс *Сценарий* – общее описание более долговременных событий, являющихся совокупностью некоторого набора кратковременных событий.

Классификация событий

Для разрешения третьей задачи для классификации видео-событий с целью многоуровневого аннотирования видео предложено использовать Байесовскую сеть, обученную и построенную на основании онтологии предметной области [15].

Признаки, вычисленные для обнаруженных объектов, служат в качестве входных переменных для Байесовской сети. Переменные квантуются путем разбиения полученного диапазона значений $[\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma]$, где μ и σ – математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение набора наблюдаемых значений соответственно, на 3-4 отрезка.

В качестве метода определения (обучения) структуры сети был выбран алгоритм K2 [16] — алгоритм жадного поиска, который начинается с пустой сети, но с начальным упорядочиванием узлов. Байесовская сеть составляется итеративно, путём добавления направленных дуг к текущему узлу от того родительского узла, добавление которого максимально увеличивает оценку результирующей структуры графа. Процесс оканчивается в том случае, если ни одно из возможных добавлений не увеличивает оценку. В предлагаемом методе определения структуры сети начальное состояние сети учитывает состояние предметной области на основе априорной структурной информации, содержащейся в полученной на предыдущем этапе онтологии с последующим доопределением на основе алгоритма K2.

Для вычисления оценки сети-кандидата на обучающей выборке, чтобы избежать переобучения, использовался Байесовский информационный критерий [17], который аппроксимирует маргинальное правдоподобие, используя подход дескриптора минимальной длины.

В результате получаем Байесовскую сеть, в которой классы и подклассы, определенные в онтологии предметной области, выступают в качестве узлов сети.

Построенная и обученная Байесовская сеть используется для распознавания поведения объектов в видеопоследовательности.

Для каждого кадра в видео происходит детектирование движущихся объектов и их классификация. Для объектов, классифицированных

как человек, выделяются признаки, которые служат входными значениями для переменных Байесовской сети. Таким образом, для каждого объекта в кадре определяются состояния и роли, в то время как самому кадру ставятся в соответствие события и сценарии, для чего используется лексикон, определенный в онтологии предметной области. Данная информация становится основой для создания аннотации к видеопоследовательности, которая представляется в виде XML-схемы.

Экспериментальная проверка

Предварительное тестирование разработанной системы проведено с использованием тестового набора данных CAVIAR [18], содержащего несколько простых сценариев с участием не более четырех человек, находящихся внутри торгового центра. Все видео сняты с фиксированных неподвижных камер. Общие результаты тестирования приведены в таблице 1.

1. Результаты тестирования

Сценарий	Число видео	Успешно распознано
Standing	10	75 %
Walking	15	94 %
Running	12	100 %
Fighting	10	90 %

Пример анализа одного кадра из видеопоследовательности с добавленной к нему аннотацией и ключевыми словами приведен на рис. 3.



Рис. 3. Пример аннотирования кадра

На основании распознанных событий, была сгенерирована XML-аннотация для видео, в которой обозначается номер кадра,

список объектов и их тип, а также информацию об их видимости, состоянии, роли и общем сценарии. Фрагмент аннотации для одного из объектов приведен ниже:

```
<frame number="243">
  <objectlist>
    <object id="1" type="human">
      <orientation>90</orientation>
      <box h="52" w="64" xc="125" yc="258"/>
      <appearance>visible</appearance>
      <hypothesislist>
        <hypothesis>
          <scenario>walking</movement>
          <role>walker</role>
          <event>walking</context>
          <state>moving</situation>
        </hypothesis>
      </hypothesislist>
    </object>
  </objectlist>
</frame>
```

Полученная аннотация может быть использована в системах СВР для поиска видеофрагментов, содержащих желаемый набор ключевых слов.

Заключение

В данной работе рассмотрены особенности автоматического аннотирования видеопоследовательностей, которые содержат движущихся людей. Анализ такого видео может возникать в системах охранного видеонаблюдения, при создании интерактивных интерфейсов, в поисковых системах. Для учета специфики предметной области предложено использовать онтологии в качестве базы знаний о ней. Онтология предварительно строится вручную и содержит иерархически структурированный словарь семантических видео-концептов и их основных свойств, а также их контекстные и логические взаимосвязи, в частности, объекты, их свойства, состояния. Кроме того, онтология определяет основной набор событий и сценариев, который используется при аннотировании видеопоследовательностей для обеспечения возможности семантического поиска и извлечения в видео-содержимом. Установление соответствия между содержимым видеоряда и онтологией предметной области производится с использованием вероятностной Байесовской сети, так-

же построенной с учетом разработанной онтологии.

Предложенный подход позволяет учесть особенности движений человека: их вероятностный характер и продолжительность во времени. Это позволило повысить достоверность аннотирования движений человека. Предварительное тестирование предложенной системы проводилось на тестовой выборке CAVIAR [18] и показало хорошие результаты. Это делает целесообразным дальнейшее развитие предложенного подхода аннотирования видеопоследовательностей и метода классификации событий для ряда более сложных задач.

Список использованной литературы

1. Sjekavica T., Obradović I., and Gledec G., (2013), *Ontologies for Multimedia Annotation: An overview*, *Proceedings of the 4th European Conference of Computer Science*, pp. 123 – 129.
2. Kokaram A., Rea N., Dahyot R., Tekalp A.M., Bouthemy P., Gros P., and Sezan I., (2006), *Browsing Sports Video: Trends in Sports-Related Indexing and Retrieval Work*, *IEEE*, Vol. 23, pp. 47 – 58.
3. Calic J., Campbell N., Dasiopoulou S., and Kompatsiaris Y.A., (2005), *Survey on Multimodal Video Representation for Semantic Retrieval*, *IEEE*, Vol. 1, pp. 135 – 138.
4. Bertini M., Bimbo A. Del, and Serra G., (2008), *Learning Ontology Rules for Semantic Video Annotation*, *Proceedings of the 2nd ACM Workshop on Multimedia Ssemantics*, pp. 1 – 8.
5. Martínez J.M., (2003), *MPEG-7 Overview: Version 9*, *International Organization for Standardization*, url: www.chiariglione.org/mpeg/standards/mpeg-7/mpeg-7.htm
6. Lu J., Tian Y., Li Y., Zhang Y. and Lu Z. A., (2009), *Framework for Video Event Detection Using Weighted SVM Classifiers*, *Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, Vol. No. 4, pp. 255 – 259.
7. Jeong J., Hong H. and Lee D., (2011), *Ontology-based Automatic Video Annotation Technique In Smart TV Environment*, *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, Vol. 57, No. 4, pp. 1830 – 1836.

8. Vrusias B., Makris D., and Renno J.A., (2007), Framework for Ontology Enriched Semantic Annotation of CCTV Video, *Eight International Workshop on Image Analysis for Multimedia Iinteractive Services, IEEE*.

9. Sun S., and Wang Y.F., (2011), Automatic Annotation of web Videos, *Multimedia and Expo (ICME), 2011 IEEE International Conference*, pp. 1 – 6.

10. Liya T., and Syama R., (2014), Ontology Based Video Annotation and Retrieval System, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Vol. 4, Iss. 7, pp. 617 – 621.

11. Коваленко Н. В. Отслеживание объектов интереса при построении автоматизированных систем видеонаблюдения за людьми [Текст] / Н. В. Коваленко, С. Г. Антощук, Н. А. Годовиченко // *Электротехнические и компьютерные системы*. – К. :– 2012. – № 08 (84). – С. 151 – 156.

12. Stauffer C., and Grimson W.E.L., (1999), Adaptive Background Mixture Models for Real-time Tracking, *IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol. 2, pp. 246 – 252.

13. Коваленко Н. В. Повышение эффективности метода вычитания фона при детектировании движения в динамических сценах [Текст] / Н. В. Коваленко, С. Г. Антощук // *Матеріали 3-ої міжнародної конференції студентів та молодих науковців «Сучасні інформаційні технології»*. – Одеса :– 2013.

14. Kozakaya T., Ito S., Kubota S., and Yamaguchi O., (2009), Cat Face Detection with two Heterogeneous Features, *16th IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 1213 – 1216.

15. Коваленко Н. В. Распределенная мультикамерная система безопасности без нарушения прав личности на конфиденциальность [Текст] / Н. В. Коваленко, С. Г. Антощук, В. Г. Бровков // *Электротехнические и компьютерные системы*. – К. :– 2013. – № 12 (88). – С. 132 – 137.

16. Fenz S., Min T. A., and Hudec M., (2009), Ontology-Based Generation of Bayesian Networks, *International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems*, pp. 712 – 717.

17. Murphy K., (2002), Dynamic Bayesian Networks: Representation, Inference and

Learning, *PhD thesis, University of California at Berkley*.

18. CAVIAR, (2014), Context Aware Vision Using Image-Based Active Recognition, url: <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CAVIAR>.

Получено 03.02.2015

References

1. Sjekavica T., Obradović I. and Gledec G., (2013), Ontologies for Multimedia Annotation: An overview, *Proceedings of the 4th European Conference of Computer Science*, pp. 123 – 129.

2. Kokaram A., Rea N., Dahyot R., Tekalp A.M., Bouthemy P., Gros P. and Sezan I., (2006), Browsing Sports Video: Trends in Sports-Related Indexing and Retrieval Work, *IEEE*, Vol. 23, pp. 47 – 58.

3. Calic J., Campbell N., Dasiopoulou S. and Kompatsiaris Y.A., (2005), Survey on Multimodal Video Representation for Semantic Retrieval, *IEEE*, Vol. 1, pp. 135 – 138.

4. Bertini M., Bimbo A. Del and Serra G., (2008), Learning Ontology Rules for Semantic Video Annotation, *Proceedings of the 2nd ACM Workshop on Multimedia Semantics*, pp. 1 – 8.

5. Martínez J.M., (2003), MPEG-7 Overview: Version 9, *International Organization for Standardization*, url: www.chiariglione.org/mpeg/standards/mpeg-7/mpeg-7.htm.

6. Lu J., Tian Y., Li Y., Zhang Y. and Lu Z., (2009), A Framework for Video Event Detection Using Weighted SVM Classifiers, *Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, No. 4, pp. 255 – 259.

7. Jeong J., Hong H. and Lee D., (2011), Ontology-Based Automatic Video Annotation Technique In Smart TV Environment, *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, Vol. 57, No. 4, pp. 1830 – 1836.

8. Vrusias B., Makris D. and Renno J.A., (2007), Framework for Ontology Enriched Semantic Annotation of CCTV Video, *Eight International Workshop on Image Analysis for Multimedia Iinteractive Services, IEEE*, 5 p.

9. Sun S., and Wang Y.F., (2011), Automatic Annotation of web Videos,

Multimedia and Expo (ICME), 2011 IEEE International Conference, pp. 1 – 6.

10. Liya T., and Syama R., (2014), Ontology Based Video Annotation and Retrieval System, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Vol. 4, Iss. 7, pp. 617 – 621.

11. Kovalenko N.V., Antoshchuk S.G. and Godovichenko N.A. Otslezhivanie Ob'ektov Interesa pri Postroenii Avtomatizirovannyh System Videonabljudeniya za Ljud'mi, [Using Object Of Interests Tracking In The Development Of Human Video Surveillance Systems], (2012), *Journal of Electrotechnic and Computer Systems*, Vol. 8, Iss. 84, pp. 151 – 156. (In Russian).

12. Stauffer C., and Grimson W.E.L., (1999), Adaptive Background mixture Models for Real-time Tracking, *IEEE Computer vision and Pattern Recognition*, Vol. 2, pp. 246 – 252.

13. Kovalenko N.V. and Antoshchuk S.G. Povyshenie Effektivnosti Metoda Vychitanija Fona pri Detektirovanii Dvizhenija v Dinamicheskikh Scenah [Increasing the Effectiveness of Background Subtraction Method for Movement Segmentation in Dynamic Scenes], (2013), *Proceedings of 3rd International Student and Young Researchers Conference MIT'13*, Odessa, Ukraine (In Russian).

14. Kozakaya T., Ito S., Kubota S. and Yamaguchi O., (2009), Cat Face Detection with two Heterogeneous Features, *16th IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 1213 – 1216.

15. Kovalenko N. V., Antoshchuk S. G. and Brovko V. G. Raspredelelnaja Mul'tikamernaja Sistema Bezopasnosti bez Narusheniya Prav Lichnosti na Konfidencial'nost' [Distributed Multicam Security System not Infringing the Private Life Rights], (2013), *Journal Of Electrotechnic And Computer Systems*, Kiev, Ukraine, Vol. 12, Iss. 88, pp. 132 – 137 (In Russian).

16. Fenz S., Min T. A., and Hudec M., (2009), Ontology-Based Generation of Bayesian Networks, *International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems*, pp. 712 – 717.

17. Murphy K., (2002), Dynamic Bayesian Networks: Representation, Inference and

Learning, *PhD thesis, University of California at Berkley*.

18. CAVIAR. Context aware Vision Using Image-Based Active Recognition, (2014), url: <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CAVIAR>.



Антощук
Светлана Григорьевна,
д-р техн. наук,
директор ин-та компьют-
ерных систем,
проф. каф. информаци-
онных систем Одесского
нац. политехн. ун-та,
+38048-7348-584.
E-mail: asg@ics.opu.ua



Коваленко
Никита Владиславович,
аспирант каф. информа-
ционных систем Одес-
ского нац. политехн. ун-
та,
м/т: +3(050)4951713.
E-mail:
kov.nikit@gmail.com



Годовиченко
Николай Анатольевич,
ст. преп. каф. информа-
ционных систем Одес-
ского нац. политехн. ун-
та, м/т: +3(068)2619923.
E-mail:
nick.godov@gmail.com