

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ****ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ****INFORMATION TECHNOLOGY**

УДК 004.932

DOI: 10.20998/2079-0023.2020.01.15

*А. Л. УЛЬЯНКО, Ю. И. ДОРОФЕЕВ***ОБЗОР МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ**

Рассматривается задача распознавания эмоционального состояния человека по изображению. Приведен обзор основных способов описания человеческих эмоций: разделение на конечное число классов и использование векторного описания. Представлены существующие разработки в области распознавания эмоций по изображению, а также приведен общий алгоритм работы подобных систем. Основными этапами решения задачи распознавания эмоций являются поиск лица на изображении и классификация эмоции. Информационная технология распознавания эмоций представлена в графической нотации. Описаны принципы работы алгоритма Виолы-Джонса, который используется для определения лица человека на изображении. Представлены подходы, которые применяются для решения задачи классификации: алгоритм Виолы-Джонса, метод опорных точек, различные архитектуры нейронных сетей, которые предназначены для классификации изображений. Проанализированы преимущества и недостатки метода опорных точек, базирующегося на системе кодирования лицевых движений, а также способ применения алгоритма Виолы-Джонса для классификации эмоций. Рассмотрен метод распознавания эмоционального состояния человека на основании визуальной информации с применением сверточных нейронных сетей. Описаны принципы действия сверточных, субдискретизирующих и полносвязных слоев нейронной сети. На основе анализа опубликованных работ приведены результаты точности распознавания в различных условиях. Также представлены работы, в которых для анализа эмоционального состояния применяется комбинация сверточных и рекуррентных нейронных сетей, где кроме визуальной информации используется дополнительный источник – аудиопоток, что позволяет более эффективно классифицировать эмоции в видеопотоке. Представлены наиболее популярные обучающие выборки данных для решения рассмотренной задачи.

**Ключевые слова:** распознавание эмоций, классификация, метод опорных точек, сверточная нейронная сеть, рекуррентная нейронная сеть, обучающая выборка.

*А. Л. УЛЬЯНКО, Ю. І. ДОРОФЕЄВ***ОГЛЯД МЕТОДІВ АВТОМАТИЧНОГО РОЗПІЗНАННЯ ЕМОЦІЙНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ ПО ЗОБРАЖЕННЮ**

Розглядається задача розпізнавання емоційного стану людини по зображенню. Наведено огляд основних способів опису людських емоцій: поділ на кінцеве число класів і використання векторного опису. Представлені існуючі розробки в області розпізнавання емоцій по зображенню, а також наведено загальний алгоритм роботи подібних систем. Основними етапами у рішенні задачі розпізнавання емоцій є пошук обличчя на зображенні і класифікація емоції. Інформаційна технологія розпізнавання емоцій представлена у вигляді графічної нотатії. Описано принципи роботи алгоритму Віолі-Джонса, який використовується для визначення особи людини на зображенні. Представлені підходи, які застосовуються для вирішення задачі класифікації: алгоритм Віолі-Джонса, метод опорних точок, різні архітектури нейронних мереж, які призначені для класифікації зображень. Проаналізовано переваги та недоліки методу опорних точок, що базується на системі кодування лицевих рухів, а також спосіб застосування алгоритму Віолі-Джонса для класифікації емоцій. Розглянуто метод розпізнавання емоційного стану людини на основі візуальної інформації із застосуванням згорткових нейронних мереж. Описано принципи дії згорткових, субдискретизуючих і повноз'язних шарів нейронної мережі. На основі аналізу опублікованих робіт наведені результати точності розпізнавання в різних умовах. Також представлені роботи, в яких для аналізу емоційного стану застосовується комбінація згорткових і рекуррентних нейронних мереж, де крім візуальної інформації використовується додаткове джерело – аудіопотік, що дозволяє більш ефективно класифікувати емоції в відео. Представлені найбільш популярні навчальні вибірки даних для вирішення розглянутої задачі.

**Ключові слова:** розпізнавання емоцій, класифікація, метод опорних точок, згорткова нейронна мережа, рекуррентна нейронна мережа, навчальна вибірка.

*A. L. ULIANKO, Y. I. DOROFIEIEV***REVIEW OF AUTOMATIC RECOGNITION METHODS OF HUMAN EMOTIONAL STATE USING IMAGE**

The problem of recognizing a person's emotional state from an image is considered. A review of the main ways of describing human emotions is given: the division into a finite number of classes and the use of vector format. Existing developments in the field of emotions recognition by image are presented, as well as a general algorithm for the operation of such systems is provided. The main steps in solving the problem of recognizing emotions are the search for a face in the image and the emotions classification. Information technology for the recognition of emotions is presented in the graphic notation. The principles of the Viola-Jones algorithm, which is used to determine the person's face in the image, are described. The approaches that are used to solve the classification problem are described: the Viola-Jones algorithm, reference points method, various neural network architectures that are

© А. Л. Ульянко, Ю. И. Дорофеев, 2020

used to classify images. The advantages and disadvantages of the reference point method based on the facial action coding system are analyzed, as well as the way the Viola-Jones algorithm is used to classify emotions. A method for recognizing a person's emotional state based on visual information using convolutional neural networks is considered. The principles of the action of convolutional, sub-sampling and fully connected layers of the neural network are described. Based on the analysis of published works, the results of recognition accuracy under various conditions are presented. Also presented works in which combination of convolutional and recurrent neural networks is used to analyze the emotional state, where in addition to visual information used an audio stream, which gives more efficient classification of emotions in a video stream. The most popular training data sets for solving the considered problem are presented.

**Keywords:** emotion recognition, classification, reference point method, convolutional neural network, recurrent neural network, training set.

**Введение.** Распознавание эмоций человека по изображению играет важную роль в человеко-машинном взаимодействии и привлекает все больше внимания в современных исследованиях [1].

Принято разделять человеческие эмоции на шесть основных категорий, которые выделил Р. Екман в работе [2]: гнев, отвращение, страх, счастье, грусть и удивление. Также часто добавляют седьмое состояние – нейтральность. Однако некоторые авторы убеждены в том, что указанные категории не позволяют описать весь спектр эмоций [3]. Альтернативным решением является описание эмоционального состояния человека вектором, который имеет 2 или 3 измерения [4]. Наиболее распространенными измерениями являются уровень возбуждения, валентность и доминирование эмоции. Например, уровень возбуждения показывает, насколько человек взволнован или апатичен, валентность – насколько позитивной является эмоция, а уровень доминирования – насколько она контролируема.

**Существующие разработки.** Решением задачи распознавания эмоций человека занимаются ведущие мировые компании, на сайтах которых представлены результаты разработок: как Vision AI (Google) [5], Rekognition (Amazon) [6], Face API (Microsoft) [7], Watson Tone Analyzer (IBM) [8]. Это свидетельствует о том, что на сегодняшний день сервисы для распознавания эмоций являются востребованными. Принцип их работы заключается в том, что в API на вход подается статическое изображение и в результате пользователь получает вектор, который описывает координаты лиц на изображении, а также отображаемые на

них эмоции. Хотя вышеупомянутые системы имеют высокую точность распознавания, а также некоторые из них способны работать с видеопотоком, основным их недостатком является отсутствие возможности работать автономно. При этом скорость получения результата зависит от пропускной способностью сети Internet, что накладывает ограничения на некоторые сценарии использования.

Для решения задачи распознавания эмоционального состояния человека по изображению используется информационная технология, которая представлена в графической нотации IDEF0 на рис. 1. Она включает следующие этапы: 1) регистрация изображения (обычно посредством камеры); 2) первичная обработка изображения – преобразование к требуемому размеру и формату, а также удаление шумов, источниками которых могут быть конструктивные недостатки средств регистрации изображений, плохое освещение сцены, помехи в каналах передачи данных и др.; 3) поиск лица на изображении; 4) предварительная обработка (например, выделение ключевых точек), а также нормализация и стандартизация входных данных; 5) распознавание эмоций – на вход классификатора подаются подготовленные данные, на выходе пользователь получает результат работы системы – наиболее вероятная эмоция.

**Поиск лиц на изображении.** Для поиска лиц на изображении обычно используется быстрый и эффективный алгоритм Виолы-Джонса, который был предложен в 2001 году и стал прорывом в области компьютерного зрения. Алгоритм использует технологию скользящего окна: рамка, размер которой меньше, чем

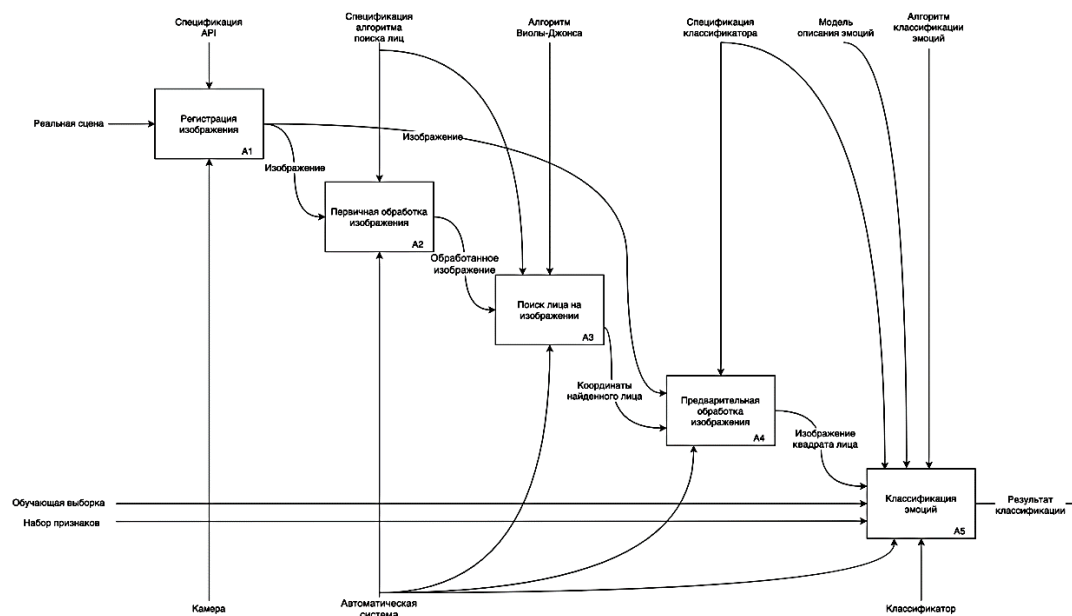


Рис. 1. Технология распознавания эмоций

исходное изображение, двигается с некоторым шагом по изображению, и с помощью каскада слабых классификаторов [9] определяется, есть ли в рассматриваемом окне лицо. Алгоритм состоит из 2-х этапов: обучения и распознавания. В алгоритме используются признаки Хаара, изображенные на рис. 2, которые впервые были предложены в работе [10].

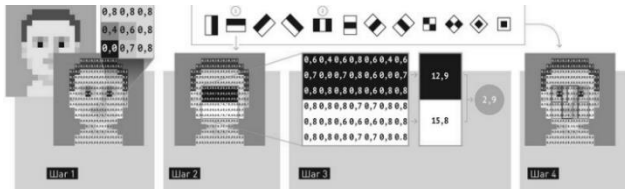


Рис. 2. Использование признаков Хаара

При помощи этих признаков определяются перепады светлых и темных участков на изображении. Так, например, по общим наблюдениям область глаз обычно темнее области щек. Поэтому общий признак Хаара для распознавания лиц представляет набор двух смежных прямоугольников, которые лежат выше глаз и на щеках.

Обобщенная схема алгоритма выглядит следующим образом: перед началом распознавания алгоритм обучения на основе тестовых изображений создает базу данных, состоящую из признаков. Далее алгоритм распознавания выполняет поиск объектов на изображении, используя созданную базу данных. Результатом работы алгоритма Виолы-Джонса является множество найденных на изображении объектов, соответствующих лицам людей. В настоящее время алгоритм активно применяется во многих системах.

**Методы классификации эмоций.** Существуют различные подходы к решению задачи автоматического распознавания эмоций. Одним из наиболее популярных является метод опорных точек [11], который базируется на поиске опорных точек лица, в частности 10 точек: по 2 точки для бровей, зрачков, углов рта, верхней и нижней губ. Далее при помощи системы кодирования лицевых движений (англ. FACS), представленных на рис. 3, рассчитываются координаты этих точек. После чего необходимо найти расстояние от ключевых точек и сравнить с базовыми значениями.

Так как размеры изображений могут быть разными, то за единицу измерения принимается расстояние между точками зрачков. После вычисления всех расстояний необходимо проанализировать те, которые влияют на проявление конкретной эмоции. К недостаткам данного подхода относят то, что он чувствителен к повороту лица, а также зависит от точности определения координат опорных точек.

Также для распознавания эмоций на изображении применяется вышеупомянутый алгоритм Виолы-Джонса. Однако из-за того, что для классификации эмоции необходимо использовать большое количество признаков, такой метод является более медленным по сравнению с другими алгоритмами. Использование

данного алгоритма оправдано в системах, где скорость работы не очень важна.

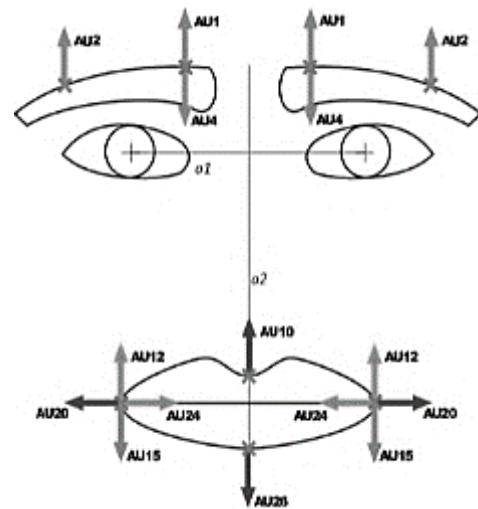


Рис. 3. Система кодирования лицевых движений (англ. FACS)

На данный момент наиболее востребованным инструментом в области распознавания изображений являются сверточные нейронные сети (СНС). Первой работой, благодаря которой началось современное распространение СНС, является публикация Яна Лекуна [12]. Однако всеобщее внимание СНС привлекли именно в 2012 году, когда под руководством Алекса Крижевски на основе СНС была разработана система, которая победила на конкурсе ImageNet (ежегодное соревнование по машинному зрению), снизив количество ошибок классификации с 26 % до 15 %.

СНС состоят из нескольких типов слоев: сверточные (англ. convolutional) слои, субдискретизирующие (англ. subsampling) слои и полносвязные слои. Задача сверточного слоя определить на изображении признаки путем наложения фильтров (рис 4), после чего применяется функция активации ReLU, которая позволяет удалить «фон» с изображения, то есть сформировать признаки.

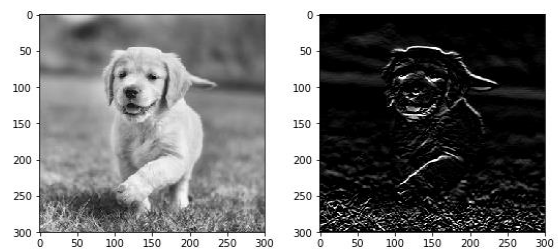


Рис. 4. Пример использования операции свертки

Принцип работы слоя субдискретизации описывается формулой

$$x^l = f(a^l * \text{subsample}(x^{l-1}) + b^l), \quad (1)$$

где  $x^l$  – выход слоя  $l$ ;  $f()$  – функция активации;  $a^l, b^l$  – коэффициенты сдвига слоя  $l$ ;  $\text{subsample}()$  – операция выборки локальных максимальных значений.

В последнем полносвязном слое используется функция активации, которая позволяет получить на выходе вектор, компоненты которого находятся в интервале  $[0, 1]$  и трактуются как вероятность отнесения эмоции к одному из классов. Именно такая архитектура позволяет наиболее эффективно решать задачу классификации изображений. Системы определения эмоций по выражению лица, использующие указанный подход, имеют точность распознавания в пределах 67-87% в зависимости от выбранной обучающей выборки.

Так, например, в 2017 году была предложена модель [8], основанная на сверточной нейронной сети, которая показала 96% точность распознавания пола человека по изображению на выборке «IMDB gender dataset», а также 66% точность при распознавании эмоций на выборке FER-2013.

В рамках конференции «AV+EC2015» была представлена работа [3], в которой решалась задача классификации эмоционального состояния человека в различных видеоклипах размером по несколько секунд. Было предложено несколько вариантов решения данной задачи, в том числе один из методов был основан на покадровом анализе видео с применением СНС архитектуры и классификацией эмоционального состояния в каждую единицу времени, а также решение, где сверточная сеть использовалась в комбинации с рекуррентной нейронной сетью (РНС). Кроме того, существует подход [13], когда при работе с видеопотоком используются не только данные, полученные из изображения, но и аудиопоток.

**Обучающие выборки.** Важную роль при настройке параметров СНС играют обучающие выборки данных. Наиболее часто в исследованиях упоминается датасет «FER-2013» [14], который был предложен на соревновании «Challenges in Representation Learning: Facial Expression Recognition Challenge» в 2013 году. Выборка содержит изображения размером  $48 \times 48$  пикселей, которые делятся на 7 различных классов эмоционального состояния, из них 28709 относятся к обучающей выборке, 3589 – к тестовой. К качественным и популярным датасетам также можно отнести «Real-world Affective Faces Database» – 29762 изображения и «Acted Facial Expressions in the Wild», который состоит из промаркированных видеоклипов.

**Заключение.** В данной работе рассмотрены модели описания эмоционального состояния человека, представлены ведущие программные продукты в указанной области. Описан процесс распознавания эмоционального состояния человека по визуальным данным, а также методы, которые применяются для решения данной задачи. Вследствие бурного развития нейронных сетей в последние годы качество распознавания эмоций человека по изображению значительно возросло, а следовательно, увеличилась актуальность разработки подобных систем для коммерческих целей, среди которых значительное место занимают системы обеспечения безопасности людей с помощью автоматизированных охранных устройств видеонаблюдения, а также системы распознавания усталости и сонливости человека, которыми оснащаются современные автомобили.

## Список литературы

1. Tao J., Tan T., Picard R. W. Affective Computing and Intelligent Interaction. *First International Conference*. Berlin: Springer-Verlag, 2005. P. 981–995.
2. Ekman P. Universals and cultural differences in the judgments of facial expressions of emotion // *Journal of personality and social psychology*. 1987. Vol. 53, no. 4. P. 712–714.
3. Russell J., Mehrabian A. Evidence for a three-factor theory of emotions // *Journal of research in Personality*. 1977. Vol. 11, no. 3. P. 273–294.
4. Khorrami P., Le Paine T., Brady K., Dagli C., Huang T. S. How Deep Neural Networks Can Improve Emotion Recognition on Video Data. *2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. Piscataway: IEEE, 2016. P. 619–623.
5. *Vision AI*. URL: <https://cloud.google.com/vision> (дата обращения 10.03.2020).
6. *Amazon Rekognition*. URL: <https://aws.amazon.com/rekognition/> (дата обращения 11.03.2020).
7. *Face API*. URL: <https://azure.microsoft.com/en-us/services/cognitive-services/face/> (дата обращения 09.03.2020).
8. *Watson Tone Analyzer*. URL: <https://www.ibm.com/watson/services/tone-analyzer/> (дата обращения 10.03.2020).
9. Haar A. Zur Theorie der orthogonalen // *Funktionensysteme. Mathematische Annalen*. 1910. B. 69. S. 331–371.
10. Viola P. Robust Real-Time Face Detection // *International Journal of Computer Vision*. 2004, no. 57. P. 137–154.
11. Lanitis A., Taylor C. J., Ahmed T., Cootes T. F. Classifying variable objects using a flexible shape model. *Fifth International Conference on Image Processing and its Applications*. Edinburgh: IET, 1995. P. 70–74.
12. LeCun Y., Bottou L., Bengio Y., Haffner P. Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition // *Proceedings of the IEEE*. 1998. Vol. 86, no. 11. P. 2278–2324.
13. Kahou S, Bouthillier X., Lamblin P. EmoNets: Multimodal deep learning approaches for emotion recognition in video // *Journal on Multimodal User Interfaces*, 2015. No. 10. P. 99–111.
14. *Challenges in Representation Learning: Facial Expression Recognition Challenge*. URL: <https://www.kaggle.com/c/challenges-in-representation-learning-facial-expression-recognition-challenge/data> (дата обращения 12.03.2020).

## References (transliterated)

1. Tao J., Tan T., Picard R. W. Affective Computing and Intelligent Interaction. *First International Conference*. Berlin, Springer-Verlag Publ., 2005, pp. 981–995.
2. Ekman P. Universals and cultural differences in the judgments of facial expressions of emotion. *Journal of personality and social psychology*. 1987, vol. 53, no. 4, pp. 712–714.
3. Russell J., Mehrabian A. Evidence for a three-factor theory of emotions. *Journal of research in Personality*. 1977, vol. 11, no. 3, pp. 273–294.
4. Khorrami P., Le Paine T., Brady K., Dagli C., Huang T. S. How Deep Neural Networks Can Improve Emotion Recognition on Video Data. *2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. Piscataway, IEEE Publ., 2016, pp. 619–623.
5. *Vision AI*. Available at: <https://cloud.google.com/vision> (accessed 10.03.2020).
6. *Amazon Rekognition*. Available at: <https://aws.amazon.com/rekognition/> (accessed 11.03.2020).
7. *Face API*. Available at: <https://azure.microsoft.com/en-us/services/cognitive-services/face/> (accessed 09.03.2020).
8. *Watson Tone Analyzer*. Available at: <https://www.ibm.com/watson/services/tone-analyzer/> (accessed 10.03.2020).
9. Haar A. Zur Theorie der orthogonalen. *Funktionensysteme. Mathematische Annalen*. 1910, b. 69, s. 331–371.
10. Viola P., Jones M. Robust Real-Time Face Detection. *International Journal of Computer Vision*. 2004, no. 57, pp. 137–154.
11. Lanitis A., Taylor C. J., Ahmed T., Cootes T. F. Classifying variable objects using a flexible shape model. *Fifth International Conference on Image Processing and its Applications*, Edinburgh, IET Publ., 1995, pp. 70–74.

12. LeCun Y., Bottou L., Bengio Y., Haffner P. Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition *Proceedings of the IEEE*. 1998, vol. 86, no. 11, pp. 2278–2324.
13. Kahou S, Bouthillier X., Lamblin P. EmoNets: Multimodal deep learning approaches for emotion recognition in video. *Journal on Multimodal User Interfaces*. 2015, no. 10, pp. 99–111.
14. *Challenges in Representation Learning: Facial Expression Recognition Challenge*. Available at: <https://www.kaggle.com/c/challenges-in-representation-learning-facial-expression-recognition-challenge/data> (accessed 12.03.2020).

Поступила (received) 16.04.2020

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Ульянко Артем Леонідович** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій, м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-3278-2687; e-mail: artem.ulyanko@gmail.com.

**Дорофеев Юрій Іванович (Дорофеев Юрий Иванович, Dorofiev Yuri Ivanovich)** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-7964-1286; e-mail: dorofeev@kpi.kharkiv.edu.

**Ульянко Артем Леонидович** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», аспирант кафедры системного анализа и информационно-аналитических технологий, г. Харьков, Украина; ORCID: 0000-0003-3278-2687; e-mail: artem.ulyanko@gmail.com.

**Дорофеев Юрий Иванович** – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры системного анализа и информационно-аналитических технологий; г. Харьков, Украина; ORCID: 0000-0002-7964-1286; e-mail: dorofeev@kpi.kharkiv.edu.

**Ulianko Artem Leonidovich** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", graduate student of the Department of System Analysis and Information-Analytical Technologies; Kharkiv city, Ukraine; ORCID: 0000-0003-3278-2687; e-mail: artem.ulyanko@gmail.com.

**Dorofiev Yuri Ivanovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor of the Department of System Analysis and Information-Analytical Technologies; Kharkiv city, Ukraine; ORCID: 0000-0002-7964-1286; e-mail: dorofeev@kpi.kharkiv.edu.

УДК 004.02

DOI: 10.20998/2079-0023.2020.01.16

**Є. Л. БАТУРІН, В. Ю. ВОЛОВЩИКОВ, В. Ф. ШАПО****ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДСИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОННИХ КЛЮЧІВ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБІГУ**

В роботі розглянуто проблему ідентифікації документів в системах електронного документообігу. Актуальність даної теми обґрунтовано широким використанням систем електронного документообігу які потребують надійної ідентифікації документів, що передаються. Основними проблемами для ідентифікації документів в системах електронного документообігу є необхідність підтвердження авторства, незмінності документу та встановлення часу підпису. Наведено огляд основних методів ідентифікації, встановлено їх переваги та недоліки. Після аналізу можливих методів ідентифікації встановлено, що метод оснований на використанні електронних ключів дозволяє надійно встановити авторство документа, надає можливість встановити час підпису, забезпечує безвідмовність факту підпису та не потребує значних ресурсів для його формування та перевірки. Це принципово виділяє метод ідентифікації на основі електронних ключів серед інших. В основу метода покладено алгоритм цифрового підпису еліптичної кривої. Стійкість обраного алгоритму ґрунтується на проблемі дискретного логарифма в групі точок еліптичної кривої. Для реалізації алгоритму використовуються відкритий та закритий ключі. Після генерації пари ключів закритий ключ зберігається користувачем в таємниці та використовується для підпису документів, а відкритий використовується для ідентифікації користувача та має бути відомий всім користувачам системи. Розглянуто інформаційну підтримку підсистеми ідентифікації. Запропонована трирівнева архітектурна модель в якій роль клієнтського рівня виконує прикладний програмний інтерфейс. Обґрунтовано технологію реалізації алгоритму підпису. Описані основні модулі, з яких має складатися підсистема та їх зв'язки. Розроблено програмне забезпечення підсистеми ідентифікації, яке дозволяє користувачам створювати як окремий так і вбудований в документ підпис а також виконувати його перевірку. Розроблена підсистема ідентифікації протестована з використанням файлів різних форматів та розмірів.

**Ключові слова:** підсистема ідентифікації, електронні ключі, документообіг, електронний підпис, алгоритм цифрового підпису еліптичної кривої, ідентифікація документа.

**Е. Л. БАТУРІН, В. Ю. ВОЛОВЩИКОВ, В. Ф. ШАПО****ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДСИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОННЫХ КЛЮЧЕЙ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА**

В работе рассмотрена проблема идентификации документов в системах электронного документооборота. Актуальность данной темы обоснована широким использованием систем электронного документооборота требующих надежной идентификации передаваемых документов. Основными проблемами для идентификации документов в системах электронного документооборота являются необходимость подтверждения авторства, неизменности документа и определение времени подписи. Приведен обзор основных методов идентификации,

© Є. Л. Батурін, В. Ю. Воловщиків, В. Ф. Шапо, 2020