

УДК 004.93'12

Р. Н. КВЕТНИЙ, Ю. В. ПОРЕМСЬКИЙ, О. А. КУЛИК, Р. О. ПЕРЕГОНЧУК

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЛЮДСЬКИХ ОБЛИЧ

Анотація: У статті проведено огляд існуючих інформаційних технологій (ІТ) ідентифікації людських обличчя в потоці відео даних. Виділено переваги та недоліки кожної з ІТ. Також проведено порівняння відкритого (безкоштовного) та запатентованого (комерційного) програмного забезпечення розпізнавання обличчя.

Ключові слова: ідентифікація людських обличчя, програмне забезпечення, потік відео даних.

Аннотация. В статье проведен обзор существующий ИТ идентификации человеческих лиц в потоке видео данных. Выделены преимущества и недостатки каждой из ИТ. Также проведено сравнение открытого (бесплатного) и запатентованного (коммерческого) программного обеспечения распознавания лиц.

Ключевые слова: идентификация человеческих лиц, программное обеспечение, поток видео данных.

Annotation. The review of the available IT of human face recognition in the video data stream is carried out. Advantages and disadvantages of each IT are detected. The comparison of open (free) and proprietary (commercial) software of human face recognition is carried out.

Key words: human face recognition, software, video data stream.

Вступ

На сьогоднішній час існує велика кількість інформаційних технологій, які пов'язані з розпізнаванням образів, в тому числі людських обличчя. Серед них є такі, що включають середовища розробки; безкоштовні, для вільного користування; бібліотеки з відкритим програмним кодом, які можна використати у власних проєктах.

Комерційні ІТ відрізняються більш насиченими функціональними можливостями. Також до їх переваг можна віднести: доступність середовища розробки; використання їх, як цілком готових програмних продуктів; стабільну підтримку при виявленні помилок; можливість інсталювання на різні операційні системи.

Найбільш розповсюдженими ІТ з відкритим програмним кодом є бібліотеки, що використовуються для подальшої розробки або вдосконалення окремих функціональних можливостей. Найчастіше вони мають мінімальний набір функціональних можливостей. Основною перевагою програмного забезпечення з відкритим кодом є гнучкість, яка полягає у можливості відредагувати або додати програмний код так, щоб він найкраще виконував задачі ІТ, що розробляється.

Актуальність

Проблема розпізнавання образів, в тому числі і розпізнавання людських обличчя, нині є дуже актуальною, в зв'язку з тим, що розпізнавання образів потребується для використання у найрізноманітніших галузях науки та техніки. Крім того, вона є основою для розв'язання багатьох задач, і ця область її застосування стрімко розширюється [1, 2]. Прикладами таких галузей є охоронні системи, безпека персонального комп'ютера, впорядкування цифрових фотографій та багато інших. В зв'язку з цим виникає необхідність дослідження шляхів підвищення ефективності інформаційних технологій, що використовуються для ідентифікації та обробки відео потоків даних.

Мета

Метою дослідження є аналіз існуючих інформаційних технологій ідентифікації людських обличчя, що надасть можливість визначитися з необхідністю створення нової ІТ, яка об'єднала б в собі найбільш необхідні функціональні можливості та реалізувала б ще не вирішені задачі ідентифікації.

Постановка задач

Для вирішення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі: визначити популярні інформаційні технології, що використовуються для ідентифікації людських обличчя; проаналізувати найбільш поширені функціональні можливості кожної з ІТ; визначитися з найбільш проблемними місцями кожної ІТ, які не дозволяють використовувати їх для більшості задач ідентифікації. Саме розв'язання вищевказаних задач надасть можливість сформувати структуру та список функціональних можливостей ІТ, яка дозволяла б вирішувати найбільш поширені задачі ідентифікації людських обличчя.

Загальні поняття про розпізнавання образів в потоках відео даних

В загальному випадку [3], задача розпізнавання образів досі не є повністю розв'язаною. Одним з варіантів розв'язку є реалізація підходу комп'ютерного зору[1]. Для того, щоб втілити в життя ідею цього підходу, необхідно дослідити, як бачить людина об'єкти різного роду. В зв'язку з цим необхідно почати дослідження з розпізнавання об'єктів людським оком. Людське око має декілька блоків, які здатні розрізняти властивості зображень різного роду. Людина швидко знаходить набори об'єктів та класифікує їх. Наведемо критерії, якими вона керується:

- Швидко виконується пошук предметів штучного походження, які характеризуються неприродною геометричною правильністю: прямі або плавні лінії, поверхні з поступовою зміною кольору або більш складна фактура.
- При більш поглибленому аналізі сцени, виділяються шаблони областей, що повторюються за властивостями або в яких є деякі відхилення від норми. Наприклад: галлявина в рівномірно-змішаному лісовому масиві, більш темне зелене листя на тлі світло-зеленого, маленьке листя на фоні великого.
- Аналіз проводиться одразу в декількох масштабах: великому, середньому і малому, на кожному з яких, виділяються найбільш характерні деталі об'єктів.
- Базові алгоритми розпізнавання образів, в загальному, виконують наступні дії [4]:
- Виділення контурів.
- Пошук заданих контурів, текстур.
- Лінійна фільтрація, що реагує на певні елементи зображень.
- Виділення областей з високою/низькою інформаційною насиченістю, чіткістю деталей тощо.

Людське обличчя можна розглядати як окремий об'єкт. В такому випадку, на зображення накладається лінійний фільтр, який повинен нагадувати лице: два темних кола з розташованим під ними темним овалом або іншою витягнутою геометричною фігурою [5].

Як відомо [6], існуючі методи розпізнавання зображень зазвичай прагнуть знайти в об'єкті декілька характерних деталей, які є визначальними при пошуку об'єктів такого роду і які можна описати алгоритмічно.

До найпростішого, хоча і не дуже потужного, способу розпізнавання обличчя, можна віднести метод виділення характерних точок очей, кінчика носа, куточків рота. Такий метод є найефективнішим, коли вимагається робота в умовах поганої освітленості. Для досягнення кращих результатів, він удосконалюється визначенням відстаней між основними точками, а також адаптацією до зміни цих відстаней. Коли людина змінює вираз обличчя, посміхається чи сумує, то відстані між визначальними точками змінюються у певних межах. Людина може відпустити бороду чи вуса, вдягнути окуляри, і всі ці фактори ускладнюють задачу ідентифікації.

Найчастіше на практиці ІТ розраховані на те, щоб людина дивилась прямо у камеру. Це значною мірою спрощує алгоритми розпізнавання, так як, обробляється буде відносно просте двовимірне зображення. Але навіть у цьому випадку задача не є тривіальною, тому що, необхідно враховувати зміну виразу обличчя, наявності/відсутності макіяжу, окулярів тощо. Також якість розпізнавання знижується, якщо людина не дивиться прямо у камеру або зйомка проводиться за умов поганої освітленості. При розпізнаванні обличчя на великій відстані, результат в значній мірі залежить від якості отриманого зображення [7].

На сьогодні існує досить велика кількість інформаційних технологій, які певною мірою вирішують проблему розпізнавання та ідентифікації, не дивлячись на те, що ця задача є дуже складною.

Інформаційні технології ідентифікації

Досить велика кількість ІТ, пов'язаних з розпізнаванням образів (в тому числі людських облич), знаходиться на загальному ринку програмного забезпечення. До таких ІТ відносяться окремі модулі з відкритим кодом та досить потужні комерційні пакети програм.

Як вже наводилося на початку статті, головною проблемою сучасних інформаційних технологій ідентифікації та обробки відео даних є необхідність підвищення рівня ефективності по відношенню до користувачів та розробників. Як відомо, в більшості випадків інформаційні технології не дозволяють вирішити всі задачі розпізнавання та ідентифікації відео даних. А лише дозволяють вирішувати одні й ті самі задачі, що значно звужує спектр функціональних можливостей. Вони є не досить гнучкими до розширення функціональних можливостей з боку сторонніх розробників. В зв'язку з цим надається можливість виділити наступні критерії ефективності наведеного класу інформаційних технологій: гнучкість модернізації; спектр функціональних можливостей; орієнтація на різні операційні системи та платформи; ефективне використання обчислювальних можливостей комп'ютерної техніки.

Враховуючи описані критерії спробуємо проаналізувати сучасний ринок інформаційних технологій ідентифікації відео даних. Загальна диференціація таких інформаційних технологій проводиться по двом основним типам: комерційні та відкриті.

Комерційні інформаційні технології

SST Face Recognition SDK. Дана програма призначена для визначення обличчя на фотографіях або відео потоках, які можна порівнювати з базою даних для ідентифікації особи. SST Face Recognition працює з кольоровими та чорно-білими зображеннями, камерами інфрачервоного діапазону і не потребує зображень високої якості.

При розпізнаванні відбувається виявлення всіх облич, що присутні на зображенні. Надається можливість роботи з декількома відеокамерами. Програмне забезпечення може використовуватись на наступних операційних системах: Windows, Linux, Free BSD.

Серед недоліків програми є неможливість розпізнання обличчя в профіль. Якщо голова повернута навіть на малий кут, то програмне забезпечення, в більшості випадків, не зможе виконати розпізнання.

Програмне забезпечення достатньо добре виконує облич свої основні функції і використовується у різноманітних сферах, таких як контроль об'єктів з пропусковим режимом, залізничних станціях, аеропортах, місць проведення спортивних заходів, використання правоохоронними органами тощо [8].

Luxand FaceSDK. Програмне забезпечення визначає обличчя на фотографіях та відео потоках. Основними функціональними можливостями є: визначення розташування лица; виявлення до 40 точок на обличчі (включаючи очі, брови, губи, ніс тощо); розпізнавання декількох людей; розпізнавання повернутих та розташованих в фас облич. Результат зберігається у текстовому форматі, де вказані координати визначальних точок обличчя та інша інформація, наприклад, кут повороту голови (до 30°). Час виявлення обличчя займає менше секунди. Програмне забезпечення розроблене для таких операційних систем як Windows, Linux, MacOS.

Серед недоліків – неможливість розпізнання лица в профіль, а також достатньо велика вартість.

Розробники пропонують наступні способи використання програмного забезпечення: для обробки зображень (автоматичного усунення ефекту червоних очей та вирівнювання кольору шкіри); створення 3D-моделі обличчя та анімованих картинок (аватар); використання для авторизації на власному комп'ютері, замість вводу пароля; ідентифікації людей. Оскільки програмне забезпечення підтримує різні середовища розробки, то може бути застосоване для охорони об'єктів, контролю місць з великим скупченням людей тощо. Тобто, використовуючи дану бібліотеку, можна написати готовий продукт, що буде використовуватись у будь-якій сфері, де необхідне виявлення та ідентифікація облич [9].

FaceAPI. Програмне забезпечення розраховане на роботу з відео. До найбільш важливого функціоналу можна віднести: знаходження обличчя; визначення основних точок (брови, губи, очі тощо); ідентифікація емоцій; розпізнавання обличчя в фас, допустимі повороти голови до 30° у різних напрямках; обробка відео даних різної якості; хороша стійкість до різких поворотів голови, руху людини, зміни освітлення, наявності окулярів чи бороди; опрацювання лише частини обличчя. Програмне забезпечення підтримує розробку на C/C++ (DLL та C-бібліотеки), розробляється підтримка C#.

Програма може надаватись за комерційною або некомерційною (безкоштовною) ліцензіями. Некомерційна версія має обмежені функціональні можливості: працює лише для веб-камер, не розпізнає рух брів і губ (тобто емоцій). Недоліком програми є необхідність достатньо потужного процесора. Рекомендують "Intel-Core 2 Duo". На даний момент програма розроблена лише для операційної системи Windows XP і Vista. Але планують випустити версії і для Linux й MacOS. Також серед недоліків неможливість відстежувати декілька людей одночасно на одному відео.

Програмне забезпечення є потужним багатифункціональним інструментом. Крім визначення самого лица, також є можливість визначення емоцій. faceAPI не є продуктом, що одразу спрямований на використання у якійсь конкретній галузі. Він надає можливість розробки програм на його основі, що будуть застосовані у конкретних сферах: охороні об'єктів, ідентифікації людей, їх розшуку, стеження за їх поведінкою і реакцією тощо. Конкретною реалізацією є більш ранній продукт faceLAB, що розроблений для попередження засинання водіїв за кермом автомобіля [10].

SHORE (Sophisticated Highspeed Object Recognition Engine).

Серед недоліків даної програми – необхідність встановлювати DirectX (близько 100 МБ), не зважаючи на те, що сама програма достатньо маленька (демо-версія займає 25 МБ). Працює лише на операційних системах Windows XP і вище, але лише на 32-бітних версіях.

Дана програма є достатньо простою і малопотужною. Але не дивлячись на це, має хорошу функціональність. Програє іншим продуктам платформи-залежністю, відсутністю середовища розробки або готових програмних продуктів (що випущені для конкретних цілей, галузей) тощо. Але у SHORE зустрічаються такі можливості, які не реалізовані у іншому програмному забезпеченні, що безперечно є перевагою.

FDlib – бібліотека для розпізнавання облич. Існують дві версії: одна з них написана на C++, інша – на Matlab. Бібліотека дозволяє розпізнавати обличчя як на зображеннях, так і на відео. FDlib дуже проста у використанні та має всього три доступні функції: введення зображення (у вигляді масиву байтів, що передається як аргумент), функція, що повертає кількість облич на заданому зображенні та функція, що повертає координати певного обличчя. Бібліотека є демонстраційною, вона безкоштовна для навчання та некомерційної діяльності. На сайті розробників міститься приклад для роботи з веб-камерою.

FDlib має недолік, спільний, напевне, для більшості програм розпізнавання облич. Це неможливість виявлення облич в профіль. Також бібліотека доступна тільки для операційних систем Windows та Linux, що не робить її платформи-незалежною у повній мірі. На превеликий жаль, бібліотека не оновлювалась з 2008 року.

Демонстраційна програма проста у користуванні. Сама бібліотека має малий розмір та не потребує значних ресурсів. Автори бібліотеки стверджують [11], що розроблений ними алгоритм підвищує швидкість розпізнавання обличчя у 4-6 разів. Хоч автори і не виставляють коду бібліотеки, що але є загальнодоступний опис використаного ними алгоритму [11].

VeriLook SDK. Потужна програма для визначення обличчя на відео та зображеннях. Крім виділення самого лиця в прямокутник (виявляються всі обличчя, що присутні на зображенні) можливий його базою пошук у базі даних та ідентифікація особи. У базі даних можуть знаходитися декілька фотографій однієї людини: в окулярах, і без них, з бородою і вусами, і без них, з посмішкою або ні, при різному освітленні або повороті голови. Вхідне відео може одночасно прийматись з декількох відеокамер. При роботі з відео, програмна здатна відрізнити реальну особу від її фотокартки. Серед переваг роботи програми – її швидкість. Вона висока не лише при визначенні обличчя (даний процес замає долі секунди), а й при ідентифікації особи. На сайті розробника [12] зазначено, що алгоритм перебирає 200 тисяч обличчя за секунду (Core 2 processor running at 2.66 GHz) Програма має дві версії: стандартну (призначена для використання на ПК), і розширену (для роботи у Web). Програмне забезпечення працює під такими операційними системами як Windows, Linux, MacOS. Підтримує середовища розробки C++, C#, Visual Basic, Java, Delphi, підтримка модулів SQL.

Серед недоліків програми є неможливість розпізнавання лиця в профіль. Але програма стійка до незначних поворотів голови вперед-назад, та вправо-вліво, а також до будь-яких поворотів у площині обличчя.

Дане програмне забезпечення є також дуже потужним. Як готовий продукт, його можна використовувати у системах охорони, контролю об'єктів з пропускним режимом, використання правоохоронними органами тощо. Оскільки доступна можливість використання середовищ розробки, то можна отримати свої готові продукти, де необхідне виявлення людей, та їх ідентифікація [12].

Відкриті інформаційні технології

MPT. Назва наведеного програмного забезпечення розшифровується як «Machine Perception Toolbox» («Інструмент Машинного Сприйняття») та є вільним програмним забезпеченням. MPT включає в себе набір платформи-незалежних бібліотек та демонстраційних програм. Бібліотеки мають досить великий функціонал та дозволяють не тільки розпізнати лице у реальному часі, а й виявити очі, стежити за певним кольором, розпізнати відблиски що погіршують якість розпізнавання. Незабаром розробники планують впровадити розпізнавання емоцій. Програми, що поставляються разом з бібліотеками, показують базові можливості та приклади використання бібліотек. Це дуже зручно, адже можна відразу оцінити ефективність розпізнавання тільки за допомогою веб-камери.

MPT має два великих недоліки. Попри те, що бібліотеки не великі за розміром та прості у використанні, вони не в змозі розпізнати обличчя під кутом та в профіль. Як тільки людина повертає голову навіть на незначний кут, ідентифікації уже не відбувається. Іншим недоліком є запусненість проекту. Розробники дуже мляво відповідають на запитання користувачів, довгий час не поповнювалась документація та не випускалось нових версій продукту.

Попри ці недоліки, MPT є однією з найбільших та найрозвинутіших бібліотек з відкритим кодом. За своїми можливостями вона поступається лише OpenCV. На сайті [13] можна ознайомитись із публікаціями, які описують використаний розробниками алгоритм. Загалом невеликий розмір, простота та відкритість переважають деякі недоліки у функціональності, що і робить MPT дуже привабливою для використання [13].

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) – бібліотека алгоритмів комп'ютерного "зору", обробки зображень та чисельних алгоритмів загального призначення з відкритим кодом. Реалізована на C/C++, але також розробляється для Python, Ruby, Matlab, Java та ін. Бібліотека може вільно використовуватись у академічних та комерційних цілях (має ліцензію BSD). OpenCV використовується для визначення загального стандарту комп'ютерного "зору" програмного забезпечення цієї області, для сприяння росту числа і якості програм, що використовують розпізнавання обличчя. За рахунок низько-рівневих бібліотек OpenCV демонструє високу швидкість роботи. Тут реалізовано більше 500 алгоритмів. Бібліотека складається з ядра та 4 модулів, в одному з яких (CV) реалізована функція виявлення об'єктів, зокрема обличчя. Також доступні функції фільтрації, геометричних перетворень зображень, аналізу зображення, пошуку контурів, вибору відмінних ознак, аналізу руху, спостереження за об'єктами, калібровки камер, функції захвату відео з камер й відео файлів та багато інших.

Приклад реалізації функцій даної бібліотеки, який можна завантажити разом із бібліотекою, не виявив лиця в профіль. Але, можливо, розробники пожертвували функціональністю заради простоти і наочності прикладу.

Загалом, OpenCV – цілком готовий, розвинутий, і придатний для використання проект. На даний момент доступна велика кількість наукових публікацій, які пропонують певні методи виявлення обличчя, але вони не демонструють прикладів чи конкретної реалізації. У OpenCV реалізовано багато з розро-

блених алгоритмів. Додатковими перевагами є наявність wiki-системи, активної спільноти, великого штату російськомовних розробників, наявності документації та книг [14].

Порівняння наведених інформаційних технологій представлено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика ІТ ідентифікації людських облич

ІТ	Комерційна/ безкоштовна	Обробка фото/відео	Операційна система	Розпізнавання повернутого обличчя	Швидко- дія	Можливість використання як готового продукту
CCT Face Recognition SDK	к	ф/в	Windows Linux FreeBSD	–	+	+
Luxand Face SDK	к	ф/в	Windows Linux MacOS	+	–	+
Face API	к/б	в	Windows	+	–	–
SHORE	к	в	Windows	–	–	+
FDlib	к/б	ф/в	Windows Linux	–	+	–
VeryLook SDK	к	ф/в	Windows Linux MacOS	+	+	+
MPT	б	в	Windows Linux	–	+	–
Open CV	б	ф/в	Windows Linux MacOS	+	+	–

Значна кількість з наведених інформаційних технологій є досить потужними, і використовуються як готові програмні продукти. Крім того, вони можуть бути використанні у інших, власних продуктах, так як підтримують подальшу розробку. Але в цьому випадку необхідно проводити значні роботи по розробці та інтеграції нових функціональних можливостей. Тому не дивно, що подібні ІТ мають велику ціну. Єдина програма SHORE не може бути використана як бібліотека. Попри це вона має свої переваги. Тут реалізовані спроби розпізнати стать людини, а також її вік. На відміну від інших програм, надається можливість розпізнавати обличчя в профіль.

Серед наведених ІТ є такі, що більш чітко справляються з задачею ідентифікації людини, і тому краще підходять для охоронних систем; а є такі, що розпізнають, наприклад, емоції, тому можуть бути використані для відстеження поведінки людини. Більшість з них підтримають різні операційні системи та не потребують вхідних даних високої якості. Це теж важливо, адже не потрібно витрачатись на обладнання високої вартості.

Здавалось, в галузі розпізнавання облич, де є доступними значна кількість алгоритмів та знайдено багато рішень, повинна бути значна кількість вільного програмного забезпечення, але на жаль, це не так. Було знайдено лише дві розвинутих ІТ, одна з яких (МТР) вже певний час не прогресує. Подібна тенденція притаманна багатьом відкритих ІТ. Було знайдено багато ІТ, що не оновлювались вже більше 5 років і на даний час знаходяться у не робочому та не актуальному стані. На даний момент стрімко розвивається лише OpenCV. ІТ вже має значну спільноту розробників, багато опублікованих матеріалів, навіть надруковану книгу[2] та значну підтримку з боку компанії Intel.

Висновки

В зв'язку з цим, можна зробити висновок, що кожна з інформаційних технологій, які знаходяться на ринку програмного забезпечення розв'язують досить велику кількість задач. Але головним недоліком є відсутність реалізації більшої кількості функціональності в одній інформаційній технології. Також не надається можливість модернізувати готові модулі, що підтверджує ізолюваність сучасних інформаційних технологій. Тому виникає необхідність в створенні не ізолюваних (відкритих для оновлення і розширення) інформаційних технологій з ефективним використанням обчислювальних характеристик комп'ютерної техніки, що надасть можливість більш ефективно налаштовувати їх під конкретні задачі ідентифікації об'єктів в відео потоці даних.

Список використаної літератури

1. Face Detection – Efficient and Rank Deficient. In: Advances in Neural Information Processing Systems 17 / W. Kienzle, G. Bakir, M. Franz and B. Scholkopf. – 2005. – pg. 673-680
2. Bradsky G. Learning OpenCV / G. Bradsky, A. Kaehler. – O'Reilly: 2008.
3. Li Stan Z. Handbook Of Face Recognition / Stan Z. Li, Anil K. Jain, – Springer Uk: 2005. – 400 p.
4. Yang M.-H. Face Detection And Gesture Recognition For Human-computer Interaction (the International Series In Video Computing) / Ming-Hsuan Yang, Narendra Ahuja. – Kluwer Academic Publishers: 2001. – 182 p.
5. Wechsler H. Reliable Face Recognition Methods: System Design, Implementation And Evaluation (international Series On Biometrics) / Harry Wechsler. – Springer: 2006. – 329 p.
6. Bennamoun M. Object Recognition: Fundamentals and Case Studies / M. Bennamoun, George Mamic, Abdessalan Bouzerdoum. – Springer Uk: 2009. – 350 p.
7. Singh S. Progress in Pattern Recognition (Advances in Pattern Recognition) / Sameer Singh, Maneesha Singh. – Springer: 2007. – 242 p.
8. CCT Face Recognition SDK [Electronic resource] // Controlling chaos technologies [website]. – Access mode: <http://www.controlchaostech.com/index2.php?menuid=20&prodid=44> (07.03.11). – Title screen.
9. Face Recognition [Electronic resource] // Luxand [website]. – Access mode: <http://www.luxand.com/facesdk/index.php> (07.03.11). – Title screen.
10. faceAPI [Electronic resource] // SeeingMachines [website]. – Access mode: <http://www.seeingmachines.com/product/faceapi/> (07.03.11). – Title screen.
11. fdlib [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.kyb.mpg.de/bs/people/kienzle/facedemo/facedemo.htm#download> (07.03.11). – Title screen.
12. Face and Object Detection [Electronic resource] // Fraunhofer IIS [website]. – Access mode: <http://www.iis.fraunhofer.de/EN/bf/bv/kognitiv/biom/422107.jsp-07.03.2010> (07.03.11). – Title screen.
13. mptbox [Electronic resource] // sourceforge [website]. – Access mode: <http://sourceforge.net/projects/mptbox/> (07.03.11). – Title screen.
14. OpenCV [Electronic resource]. – Access mode: <http://opencv.willowgarage.com/wiki/> (07.03.11). – Title screen.

Відомості про авторів

Кветний Роман Наумович – д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматичної та інформаційно-вимірювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе 95, м. Вінниця, 21021, тел. (0432) 59-85-72, e-mail: rkvetny@mail.ru

Поремський Юрій Віталійович – к.т.н., старший викладач кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе 95, м. Вінниця, 21021, тел. (0432) 61-72-14 e-mail: yporemskyy@gmail.com

Кулик Олександра Анатоліївна – студент кафедри автоматичної та інформаційно-вимірювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе 95, м. Вінниця, 21021, e-mail: KulikOA@gmail.com

Перегончук Роман Олександрович – студент кафедри автоматичної та інформаційно-вимірювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе 95, м. Вінниця, 21021, e-mail: roman.peregonchuk@gmail.com