Електронні системи та сигнали

УДК 004.932.2 DOI 10.20535/2523-4455.2018.23.6.149298

Система автоматичного візуального розпізнавання показань лічильника

Сваха[f] Д. М., ORCID 0000-0003-0986-1600
e-mail svahadima@gmail.com
Варфоломєєв[s] А. Ю., к.т.н., ORCID 0000-0002-6990-7140
e-mail a.varfolomieiev@kpi.ua
Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури keoa.kpi.ua
Факультет електроніки fel.kpi.ua
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» kpi.ua
Київ, Україна

***Анотація*—В роботі розглянуто систему автоматичного віддаленого зняття показань лічильника. Наведено загальну структуру цієї системи і детально описано розроблену її програмну складову, що відповідає за розпізнавання. Зазначений компонент запропоновано реалізувати на основі процедури, що передбачає два етапи, на першому з яких виконується виявлення шкали лічильника і окремих областей розрядів, а на другому – проводиться розпізнавання кожної із цифр у знайдених областях. Виявлення шкали лічильника запропоновано здійснювати шляхом застосування перетворення Хафа, а сегментування області показань на розряди – за допомогою морфологічних операцій. Для розпізнавання цифр лічильників різних типів створено навчальну вибірку і навчено згорткову нейронну мережу, що має подібну до LeNet архітектуру.**

Бібл. 16, рис. 6.

Ключові слова — лічильник; розпізнавання; згорткова нейронна мережа; перетворення Хафа

I. Вступ

В сучасних умовах постійного зростання екологічних вимог та збільшення вартості енергоресурсів, облік їх споживання набуває значної актуальності як для окремих домогосподарств, так і для підприємств житлово-комунальної та промислової сфер. У цьому відношенні важливим питанням також є автоматизація процесу обліку, яка зменшує імовірність виникнення помилок, робить даний процес зручнішим та оперативнішим і, як наслідок, дозволяє більш ефективно керувати споживанням енергоресурсів. На даний момент на вітчизняному ринку представлено два основні рішення для автоматизації обліку спожитих ресурсів. Перше з них — це автоматична система комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ), яка дозволяє вимірювати обсяг спожитої електроенергії з урахуванням добових, зонних або інших тарифів, а також зберігати та аналізувати отримані результати [1]. Для автоматичного визначення кількості спожитих ресурсів у АСКОЕ повинно застосовуватись локальне устаткування збору і обробки даних (ЛОЗОД), яке фактично представляє собою спеціалізовані лічильники [2]. До недоліків системи АСКОЕ належать:

- Відносно висока вартість встановлення.
- Необхідність заміни вже встановленого лічильника на спеціалізований новий.
- Ведення обліку лише електроенергії.

Іншим, більш універсальним рішенням є продукція компанії «Технотроникс». Устаткування цієї компанії може працювати з будь-якими лічильниками, що мають імпульсний вихід або інтерфейс RS-485 та дозволяє передавати отриману від них інформацію через мережі Wi-Fi, Ethernet або GSM [3]. Основним недоліком цього рішення також є необхідність заміни лічильника, причому на більш дорогий — зі спеціальним інтерфейсом.

У роботі запропоновано систему, що базується на візуальному розпізнаванні показників лічильника і дозволяє уникнути недоліків розглянутих вище рішень. Зокрема, завдяки візуальному зняттю показників лічильника можливо вести облік спожитих енергоресурсів на основі старих механічних датчиків, які в ряді випадків є надійнішими, більш розповсюдженими та дешевшими, ніж електронні лічильники або лічильники з імпульсним виходом.

Загальну структуру запропонованої системи наведено на рис. 1.

Copyright (c) 2018 Сваха Д. М. Варфоломєєв А. Ю.

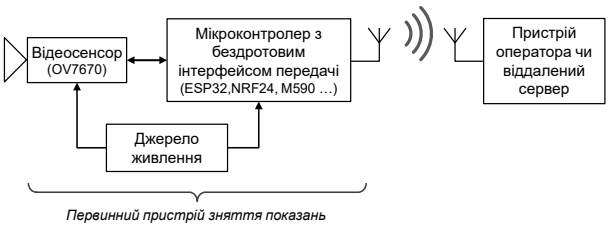


Рис. 1 Структурна схема системи візуального зняття показань лічильника

Структура передбачає отримання зображення шкали лічильника за допомогою відеосенсора, передачі фото на мікроконтролер, який у свою чергу через бездротовий канал надсилає отриману фотографію на пристрій оператора чи віддалений сервер. Така конфігурація має ряд переваг, а саме:

- Невелика вартість у порівнянні з іншими рішеннями. У якості відеосенсора немає потреби використовувати високоякісну матрицю з великою роздільною здатністю. Тут може застосовуватись найдешевше рішення, наприклад, сенсор OV7670 компанії Omnivision. Мікроконтролери, що підійдуть за функціональністю та швидкодією для реалізації системи, а також модулі бездротового зв'язку, такі як ESP32 (Wi-Fi) або NEOWAY M590 (GSM/GPRS) так само на сьогодні не є дорогими. В результаті, загальна вартість наведеного на рис. 1 модуля первинного зняття показань лічильника разом із джерелом живлення та корпусом може не перевищувати \$10-\$12.
- Можливість роботи із вже встановленими лічильниками.
- Надійність, обумовлена відсутністю рухомих частин, а також можливість віддалено аналізувати отриману фотографію вручну та визначати потенційну проблему, яка виникла під час експлуатації.

Первинним пристроєм зняття показань лічильника не виконується жодної обробки отриманої фотографії шкали. Він лише виконує роль передавача цієї фотографії на віддалений пристрій оператора. Водночас, важливою задачею первинного пристрою зняття є захист інформації, яка передається через бездротовий канал. Таким чином, його мікроконтролер реалізовує відповідні криптоалгоритми, що забезпечують непорушність фотографії шкали лічильника, яка надсилатиметься, а також здійснює аутентифікацію пристроя оператора.

Після отримання на пристрій оператора фотографії шкали лічильника, розпізнавання показань може бути виконане або безпосередньо на даному пристрої, або передано на сервер обробки. Така архітектура системи обумовлена складністю процедури розпізнавання, яка, очевидно, не може бути реалізована на первинному пристрої зняття показань.

В розглянутій системі одним з найбільш складних і важливих компонентів є процедура розпізнавання. Таким чином, саме в її розробленні й полягає мета даної роботи.

На сьогодні питанню оптичного розпізнавання показань лічильників присвячено вже досить багато робіт. Детально зупинятись на всіх представлених в них результатах не доцільно, оскільки запропоновані в цих працях підходи є більш-менш подібними. Тому наведемо відомості лише з джерел [4–9]. У зазначених роботах задачу розпізнавання прийнято вирішувати у декілька етапів, які, зокрема, передбачають виявлення області показань лічильника, сегментації цієї області на окремі цифри та розпізнавання знайдених цифр. В залежності від того, які методи та алгоритми використовуються на кожному етапі і розрізняються запропоновані в роботах системи розпізнавання. Так, у роботах [4–7] виявлення області показань основане на аналізі кольорової інформації (найменші значущі розряди мають червоний колір або оточені червоним прямокутником, шкала з боків має риски певного кольору). Такий підхід, не позбавлений недоліків, оскільки зазначені умови характерні для лічильників не всіх моделей. Інший підхід, використовуваний у роботах [8, 9], передбачає пошук границь шкали методом Хафа. Це рішення є більш універсальним, оскільки не покладається на конкретне забарвлення шкали або прилеглих до неї областей і використовує факт того, що область показань має прямокутну форму. Сегментування цифр шкали в переважній більшості робіт базується на морфологічному обробленні та аналізі компонент зв'язності. Розпізнавання цифр шкали виконується різними способами: шляхом співставлення за шаблоном чи методом *k*-найближчих сусідів [6, 8, 9], за допомогою метрики Гаусдорфа [7], готової системи оптичного розпізнавання символів Tesseract OCR [5] та нейронних мереж [4, 5]. В роботі [5] показано, що один з найбільш надійних підходів розпізнавання полягає у застосуванні згорткових нейронних мереж.

Із наведеного короткого огляду видно, що деякі складові систем розпізнавання забезпечують різну ступінь універсальності та надійності. Таким чином, в рамках даної роботи вирішено використати найбільш універсальну та надійну комбінацію методів та алгоритмів обробки зображень з тих, які були застосовані в розглянутих вище працях, що і визначає основний внесок цієї роботи.

В наступних розділах детальніше розглянуто загальну програмну структуру процедури розпізнавання, а також її складові: підсистеми виявлення області показань лічильника і розпізнавання цифр його шкали.

II. Загальна структура процедури розпізнавання

В даній роботі розпізнавання показань лічильника запропоновано виконувати у два етапи:

1) виявити область показань лічильника (знайти на зображенні шкалу лічильника) та виділити на ній окремі цифри;
2) у виявленій області провести розпізнавання кожної зі знайдених цифр.

Copyright (c) 2018 Сваха Д. М. Варфоломєєв А. Ю.

Така програмна організація процедури розпізнавання обумовлена тим, що виявлення області показань може виконуватись не завжди. Якщо пристрій зняття показань встановлено стаціонарно, то виявлення шкали достатньо виконати один раз при встановленні, отримати положення цифр і для даного лічильника в подальшому виконувати лише розпізнавання. Це також дозволить заощадити на передаванні даних з пристрою зняття, оскільки на нього можна передати інформацію щодо положення шкали і надалі пристрій зняття передаватиме до центру обробки тільки дану область. Водночас, повторне виявлення шкали може знадобитись лише у випадку порушення встановлення пристрою зняття, при його заміні або зміні лічильника. Сам факт порушення встановлення пристрою зняття може бути встановлено віддалено — на основі некоректного розпізнавання показань лічильника та аналізу отриманої фотографії шкали.

III. Виявлення області показань лічильника

Процедуру виявлення шкали лічильника на зображенні більш детально розглянуто в роботі [10]. Для повноти викладення в даному розділі наведено основні її положення.

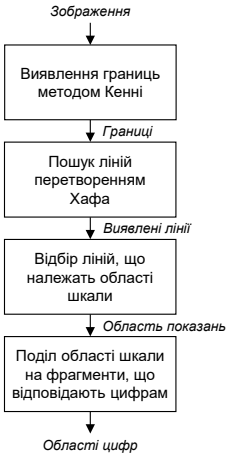
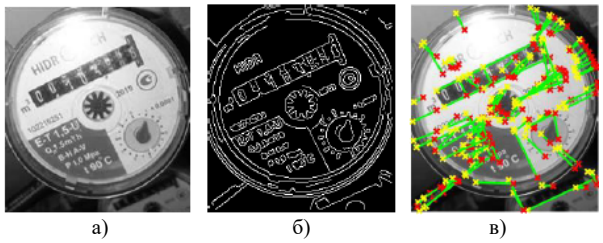


Рис. 2 Процедура виявлення та сегментування області показань лічильника



а) б) в)

Рис. 3 Ілюстрація процедури виявлення ліній: а) – вхідне зображення; б) – результат виявлення границь методом Кенні; в) – результат пошуку ліній за допомогою перетворення Хафа

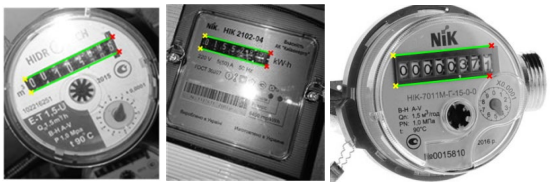


Рис. 4 Приклади виявлення шкали лічильника на реальних зображеннях

Узагальнена схема процедури виявлення та сегментування області показань лічильника наведена на рис. 2.

Для виявлення області показань був використаний підхід, що ґрунтується на виявленні ліній. Виходячи з геометричної форми області показань лічильника, яка майже завжди є прямокутною, один з підходів її пошуку може полягати у виявленні ліній, що задають границі даної області. Для цього доцільно буде скористатись так званим перетворенням Хафа [11].

Перетворення Хафа є методом, що зазвичай застосовується для пошуку елементарних фігур на зображеннях, таких як: прямі, кола, еліпси тощо. Даний метод ґрунтується на процедурі голосування, що застосовується до простору параметрів тих геометричних фігур, які необхідно виявити [12]. Зокрема, для ліній, які слід виявляти для пошуку шкали, параметрами є їх кут нахилу та зсув відносно початку координат. Процедура голосування виконується в акумуляторному масиві, розмірність якого у випадку ліній дорівнює двом, оскільки визначаються лише два зазначені параметри. Сама ця процедура застосовується до зображення, на якому виявлені границі, і полягає у тому, що для кожної пари параметрів акумуляторного масиву накопичується кількість пікселів, які лежать на прямій, що відповідає даній парі параметрів. Таким чином, точки акумуляторного масиву з великими значеннями відповідають відрізкам прямих [11].

Оскільки перетворення Хафа працює із двійковими зображеннями із явно виділеними границями, перед його застосуванням виконується виявлення границь методом Кенні [11]. Результат пошуку ліній за допомогою такого підходу наведено на рис 3.

З рис. 3, в) видно, що на реальному зображенні відбувається детектування великої кількості зайвих ліній. Для того аби серед них виявити ті, що відповідають границям шкали (області показань), введено наступні критерії:

- Лінії області показань повинні бути паралельними – мати приблизно однаковий кут нахилу, а також бути приблизно однакової довжини, оскільки ці лінії належать прямокутнику.
- Лінії не повинні бути надто короткими і мати довжину не менше третини зображення.
- Співвідношення довжин даних ліній до відстані між ними повинно варіюватись в межах від 4 до 7. Дане співвідношення фактично визначає пропорції прямокутника шкали.
- Кут між вектором, що сполучає кінці протилежних ліній та вектором, що задає напрямок однієї з ліній має бути приблизно прямим та лежати в межах від 87 до 93.

Остаточний результат застосування наведених правил показано на рис. 4.

Для пошуку прямокутника навколо шкали лічильника також можна застосовувати більш складний підхід, описаний в роботі [13].

Copyright (c) 2018 Сваха Д. М. Варфоломєєв А. Ю.

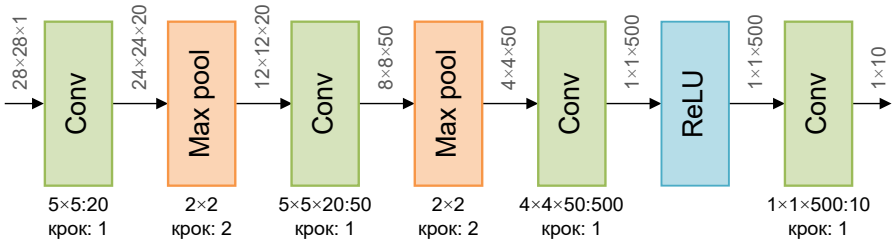


Рис. 5 Структура нейронної мережі, що використовується для розпізнавання символів: над стрілками наведені розмірності тензорів відповідних входів та виходів шарів

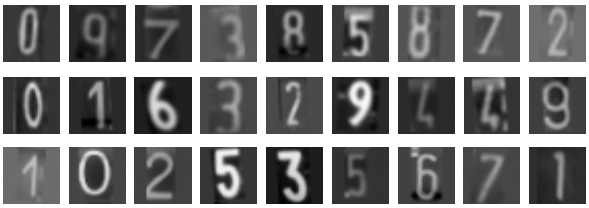


Рис. 6 Деякі зображення цифр, що використовувались у навчальній вибірці

Після виявлення шкали лічильника здійснюється сегментація цифр. Для цього область шкали бінаризується за допомогою адаптивного порогу, наприклад, методом Отсу [14], а далі виконується пошук компонент зв'язності [11]. При цьому вважається, що найбільші з цих компонент, які приблизно з однаковим кроком розташовані в області показань, і є цифрами. Далі, на основі параметрів знайдених компонент зв'язності (центрів мас) здійснюється поділ шкали на фрагменти, в яких виконуватиметься розпізнавання цифр.

Як вже зазначалось, у розробленій системі, виявлення шкали лічильника та сегментація її цифр має проводитись досить рідко (зазвичай один раз – при встановленні пристрою зняття). Таким чином, дана процедура є скоріше допоміжною і може виконуватись із втручанням оператора, який, за необхідності, корегуватиме автоматично отриманий результат. Це дозволяє знизити вимоги до точності процедур виявлення шкали і її сегментації. Тим не менш, якщо в майбутньому знадобиться максимально ефективне детектування області показань, запропоновану вище процедуру можна замінити на один з більш ефективних методів, що, наприклад, використовує нейронні мережі, аналогічно до описаної в наступному розділі процедури розпізнавання цифр.

IV. Розпізнавання цифр шкали

Розпізнавання показань виконується за допомогою згорткової нейронної мережі. Її структура та параметри навчання описані нижче.

A. Структура нейронної мережі

Згорткові нейронні мережі показали високу ефективність в розпізнаванні символів і, зокрема, рукописних цифр [15]. У системі, що розглядається стоїть аналогічна задача, причому вона навіть є більш простою, оскільки цифри, що мають розпізнаватись тут не є рукописними. Тим не менш, з огляду на сучасні досягнення в галузі оптичного розпізнавання символів, а також на результати отримані в роботі [5], прийнято рішення використовувати мережу для розпізнавання, яка має архітектуру подібну до LeNet [15] див. рис. 5.

На вхід цієї мережі подається чорно-біле зображення розміром 28×28 пікселів. На рис. 5 використовуються загальноприйняті позначення шарів, а саме: *Conv* – згортковий шар, *Max pool* – шар об'єднання за максимумом, *ReLU* – функція активації $y = \max(x, 0)$. Позначення під шарами на рис. 5 мають формат: $x \times y \times z : n$, $x \times y : n$ та $x \times y$ і означають наступне: $x \times y \times z$ та $x \times y$ – розміри фільтру в шарі; n – кількість фільтрів у шарі; *крок* – зміщення фільтрів у пікселях під час обчислення згортки або при об'єднанні за максимумом.

B. Навчання нейронної мережі

Під час навчання у якості функції втрат використовувалась функція м'якого максимуму (softmax) [16]. Саме навчання виконувалось за допомогою метода стохастичного градієнтного спуску (SGD) з моментом [16], параметри якого були наступними:

- розмір підмножини для навчання у SGD (batch size) — 10 зображень;
- крок градієнтного спуску (швидкість навчання, learning rate) — 10^{-3};
- коефіцієнт моменту (momentum) — 0,9;
- кількість епох навчання — 20.

Для навчання мережі використовувалась спеціально створена навчальна вибірка. Приклади деяких зображень цифр з даної вибірки наведені на рис. 6.

В результаті навчання наведеної на рис. 5 мережі та створеної навчальної вибірки досягнуто коефіцієнт вірного розпізнавання на рівні 99,2%. Отриманий результат відповідає найкращим зразкам існуючих аналогічних систем і підтверджує доцільність використання згорткових нейронних мереж для розпізнавання показань механічних лічильників обліку спожитих енергоресурсів.

Слід відмітити, що під час перемикання лічильника, в деяких розрядах шкали, можуть з'явитись фрагменти одночасно двох цифр. Щоб забезпечити надійне розпізнавання в такій ситуації, навчальну вибірку доцільно буде доповнити відповідними прикладами.

Copyright (c) 2018 Сваха Д. М. Варфоломєєв А. Ю.

Висновки

В роботі розроблено програмну складову системи автоматичного візуального розпізнавання показань механічних лічильників, що складається з двох основних компонентів – підсистеми виявлення області показань та підсистеми розпізнавання. Підсистема виявлення області показань була розроблена у праці [10] і також коротко описана у третьому розділі цієї роботи. Дана підсистема базується на виділенні границь методом Кенні та пошуку ліній методом Хафа. Результатом її роботи є прямокутна область показників лічильника із визначеними у ній границями кожної з цифр шкали. Знайдена область передається на підсистему розпізнавання. У якості підсистеми розпізнавання обґрунтовано використання згорткової нейронної мережі, що дозволило отримати коефіцієнт правильного розпізнавання на рівні 99,2 відсотків.

Внесок авторів

Загальну концепцію системи автоматичного знаття показань лічильника, яку розглянуто у вступі, запропоновано Свахою Д. М. Систему розпізнавання та детектування шкали лічильника розроблено у більшій частині Варфоломєєвим А. Ю. Експериментальні дослідження Свахою Д. М та Варфоломєєвим А. Ю. проводилися спільно. Відсоткові внески авторів в роботу: Варфоломєєв А. Ю. – 70%, Сваха Д. М. – 30%.

Перелік посилань

[1] “Vprovadjennya ASKOE [Implementation of ASKOE],” [Online]. Available: http://www.ukrenergoexport.com/uk/content/%D0%B2%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%B4%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D0%B0%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5 [Accessed 26, Nov. 2018].

[2] DTEK, "DTEK kyivski electromereji [DTEK Kyiv Power Grids]," [Online]. Available: https://dtek-kem.com.ua/ee-company/sistemi_luzodaskoe [Accessed 26, Nov. 2018].

[3] Technotronics, "Uchet energoresursov [Accounting of energy resources]," [Online]. Available: http://ttronics.ru/?menu=calculation. [Accessed 26, Nov.2018].

[4] Z. Cai, C. Wei and Y. Yuan, "An Efficient Method for Electric Meter Readings Automatic Location and Recognition," *Procedia Engineering,* vol. 23, pp. 565-571, 2011. **DOI**: 10.1016/j.proeng.2011.11.2548.

[5] M. Cerman, G. Shalunts and D. Albertini, "A Mobile Recognition System for Analog Energy Meter Scanning," *Bebis G. et al. (eds) Advances in Visual Computing. ISVC 2016. Lecture Notes in Computer Science,* vol. 10072, pp. 247-256, 2016. **DOI**: 10.1007/978-3-319-50835-123.

[6] W. Qi, B. Xue and Y. Lui, "Research on reading recognition technology of gas meter based on key feature matching," in *Lecture Notes in Electrical Engineering. Advanced Graphic Communications and Media Technologies*, vol. 417, Springer, Singapore, 2017, pp. 317-324. **ISBN**: 978-981-10-3530-2.

[7] M. Rodriguez, G. Berdugo, D. Jabba, M. Calle and M. Jimeno, "HD_MR: a new algorithm for number recognition in electrical meters," *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences,* vol. 22, pp. 87-96, 2014. **DOI**: 10.3906/elk-1202-34.

[8] M. Kompf, "OpenCV practice: OCR for the electricity meter," [Online]. Available: https://www.mkompf.com/cplus/emeocv.html [Accessed 25, Dec. 2018].

[9] "Syomka pokazaniy schetchika ns telefon sposleduyushim raspoznavaniem [Filming of meter values using phone with further recognition]," [Online]. Available: https://habr.com/post/220869/ [Accessed 25, Dec. 2018].

[10] D. M. Svaha and A. Y. Varfolomieiev, "Systema avtomatychnogo visual'nogo znyattya pokazan' lichilnyka [The system for automatic visual meter reading]," in *XI International Scientific and Technical Conference of Young Scientists "Electronics-2018"*, Kyiv, 2018. **URL:** http://elconf.kpi.ua/wp-content/uploads/2018/06/%D0%B7%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA-26_06_2018.pdf [Accessed 19, Nov. 2018].

[11] R. C. Gonzalez та R. E. Woods, Digital Image Processing (3rd Edition), New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 2008. **ISBN**: 978-0131687288, p. 954.

[12] D. A. Forsyth та J. Ponce, Computer vision. A modern Approach, New Jersey: Prentice Hall Inc., 2003. **ISBN**: 0-13-085198-1.

[13] C. R. Jung and R. Schramm, "Rectangle Detection based on a Windowed Hough Transform," in *Proceedings of 17th Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*, Curitiba, 2004. **DOI**: 10.1109/SIBGRA.2004.1352951.

[14] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics,* vol. 9, no. 1, pp. 62-66, 1979. **DOI**: 10.1109/TSMC.1979.4310076.

[15] Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio and P. Haffner, "Gradient Based Learning Applied to Document Recognition," *Proceedings of the IEEE,* vol. 86, no. 11, p. 2278–2324, 1998. **DOI**: 10.1109/5.726791.

[16] I. Goodfellow, Y. Bengio and A. Courville, Deep Learning, Massachusetts: MIT Press, 2016. **ISBN**: 978-0262035613.

Надійшла до редакції 03 листопада 2018 р.

Copyright (c) 2018 Сваха Д. М. Варфоломєєв А. Ю.

УДК 004.932.2

Система автоматического визуального распознавания показаний счетчика

Сваха[f] Д. М., ORCID 0000-0003-0986-1600
e-mail svahadima@gmail.com
Варфоломеев[s] А. Ю., к.т.н., ORCID 0000-0002-6990-7140
e-mail a.varfolomieiev@kpi.ua
Кафедра конструирования электронно-вычислительной аппаратуры keoa.kpi.ua
Факультет электроники fel.kpi.ua
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» kpi.ua
Киев, Украина

***Анотаци*—В работе рассмотрена система автоматического удаленного снятия показаний счетчика. Приведена общая структура данной системы и детально описана ее программная часть, ответственная за распознавание. Указанный компонент предложено реализовать на основе процедуры, предполагающей два этапа, на первом из которых выполняется выявление шкалы счетчика и отдельных областей ее разрядов, а на втором – проводится распознавание каждой из цифр в найденных областях. Поиск шкалы счетчика предлагается осуществлять путем применения преобразования Хафа, а сегментирование области показаний на разряды – с помощью морфологических операций. Для распознавания цифр счетчиков разных типов создано обучающую выборку и обучено сверточную нейронную сеть, имеющую схожую с LeNet архитектуру.**

Библ. 16, рис. 6.

***Ключевые слова*—счетчик; распознавание; сверточная нейронная сеть; преобразование Хафа**

UDC 004.932.2

The System of Automatic Visual Recognition of Meter Indications

D. M. Svakha[f], ORCID 0000-0003-0986-1600
e-mail svahadima@gmail.com
A. Yu. Varfolomieiev[s], PhD, ORCID 0000-0002-6990-7140
e-mail a.varfolomieiev@kpi.ua
Department of Design of Electronic Computing Equipment keoa.kpi.ua
Faculty of Electronics fel.kpi.ua
National technical university of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute” kpi.ua
Kyiv, Ukraine

***Abstract*—The system for automatic remote reading of meter indications is suggested. Two existing alternative solutions of the system implementation are considered. The main drawback of both solutions is specified, which particularly consists in the necessity of using of the specialized meters. The proposed system, in contrast, is universal, does not require meter replacement, has high reliability due to the absence of moving parts, and permits manual remote diagnostics. The general structure of the proposed system is described. It consists of primary reading device, based on a low-cost videosensor, a microcontroller and a wireless data transmission module, as well as the receiver (server part) with optical recognition software. The software component is considered in more details. Specifically, it is suggested to be implemented using the two-stage procedure. In the first stage, the meter scale is detected and partitioned into separate digit positions. The search of meter scale is proposed to be implemented using the Hough transform, which performs the lines location. Since the Hough transform, which takes binary images as an input is employed, the Canny edge detection algorithm is**

Copyright (c) 2018 Сваха Д. М. Варфоломєєв А. Ю.

supposed to be applied first. The meter scale detection is based on the location of lines that forms a rectangular region with specific proportions. When the detection of the scale is performed, the located region is segmented into a separate digit subregions using the binary morphological operations and connected components analysis. The described process is applied relatively seldom (usually when the primary reading device is (re)installed), thus the operator of the system may manually correct the results of the detection and segmentation (these results will be valid for the further use). It reduces the quality requirements for the results, which obtained in the first stage. In the second stage, the recognition of each digit is performed. For these purposes, the use of convolutional neural network is suggested. This network is based on the architecture similar to the LeNet: it operates on small grayscale images and has seven layers (three convolutional, two max pooling, one ReLU and one fully connected layer). The training of network was performed on a specially composed training set. The training itself was conducted using the standard stochastic gradient descent (SGD) with momentum. The "softmax" was used as the loss function. In the result of the training, the correct digit recognition rate in 99,2% is achieved.

Ref. 16, fig. 6.

Keywords—meter; recognition; convolutional neural network; Hough transform

Copyright (c) 2018 Сваха Д. М. Варфоломєєв А. Ю.