

Chmurowy system sterowania urządzeń pralniczych z wykorzystaniem tekstroniki

Mateusz Salach, Marcin Hubacz, Bartosz Trybus, Bartosz Pawłowicz

Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów

Streszczenie: W pracy przedstawiono model i realizację rozproszonego systemu zarządzania pralnią z tekstroniką i chmurą obliczeniową, umożliwiającą inteligentne sterowanie procesem prania dzięki wykorzystaniu identyfikatorów RFID w tekstyliach oraz połączeniu urządzeń z usługą Azure IoT Hub. Tekstylia wyposażone w identyfikatory RFID są automatycznie rozpoznawane, co pozwala na optymalne dopasowanie parametrów prania w zależności od rodzaju materiału. Moduł komunikacji, oparty na mikrokomputerze Raspberry Pi, współpracuje z mikrokontrolerem STM32, przesyłając dane do chmury, gdzie są one analizowane w celu uzyskania rekomendacji dotyczących detergentów, czasu prania i innych ustawień. Prototyp systemu sterowania w formie sekwencyjnego algorytmu opracowano za pomocą oprogramowania CPDev. W oparciu o model laboratoryjny przeprowadzono badania pomiarowe dokładności identyfikacji tekstyliów, co pozwoliło dobrać liczbę skanów.

Słowa kluczowe: RFID, tekstronika, chmura obliczeniowa, inteligentne ubrania

1. Wprowadzenie

Rozwój technologiczny jest widoczny w wielu aspektach codziennego życia. Technologie cyfrowe znacząco ułatwiają realizację licznych rutynowych działań, co przyczynia się do wzrostu popularności rozwiązań opartych na Internecie Rzeczy (IoT) [1]. Coraz większym zainteresowaniem cieszy się również koncepcja Internetu Wszecznego (IoE) [2]. Urządzenia IoT mogą komunikować się bezpośrednio z Internetem za pomocą modułów Wi-Fi lub Ethernet, bądź pośrednio przez bramki wykorzystujące ZigBee, Bluetooth oraz inne technologie. Niskokosztowe rozwiązania sprzętowe często bazują na układach z serii ESP8266 [3], ESP32 [4] lub STM32 [5]. W bardziej zaawansowanych systemach stosowane są wydajniejsze platformy, takie jak popularne Raspberry Pi [6]. Rozwiązania te wspierane są przez zaawansowane algorytmy, w tym oparte na sztucznej inteligencji, które umożliwiają zarządzanie zużyciem energii elektrycznej [7] oraz systemami grzewczymi [8]. Technologie te stosuje się między innymi w klastrach budynków, zarządzanych z poziomu chmury [9]. Inni autorzy wskazują na zalety zastosowania przetwarzania brzegowego (ang. *edge computing*) w rozwiązaniach chmurowych [10].

Przykładem takiego rozwiązania jest opisany w artykule rozproszony system inteligentnych urządzeń pralniczych. Założono, że urządzenia te wyposażone są w dodatkowe moduły

umożliwiające zarządzanie oraz precyzyjne dostosowywanie parametrów prania materiałów tekstylnych. Rozwiązanie to jest szczególnie istotne dla pralni obsługujących duże ilości tekstyliów, jak pralnie hotelowe, szpitalne itp., gdzie automatyzacja doboru odpowiednich środków piorących może znacząco usprawnić proces pracy urządzeń takich jak pralki, pralnice i pralko-suszarki.

Współcześnie inteligentne pralki marek takich jak m.in. Samsung, AEG, Bosch i Siemens łączą się z Internetem, umożliwiając pobieranie aktualizacji oprogramowania i nowych programów prania z chmury. Dzięki aplikacjom mobilnym (SmartThings, My AEG Care, Home Connect) użytkownicy mogą zdalnie monitorować i sterować urządzeniem oraz oszczędzać energię i wodę. Dodatkowo, systemy takie umożliwiają współpracę z suszarkami, które automatycznie ustawiają parametry suszenia na podstawie informacji otrzymanych od pralki.

Proponowane tutaj rozwiązanie rozszerza te możliwości o automatyczną konfigurację programu prania na podstawie precyzyjnego rozpoznawania rodzaju odzieży i danych z chmury. Do rozpoznawania tkanin wykorzystano system RFID (ang. *Radio Frequency IDentification*). Tekstylia wyposażone zostały w dedykowane tekstroniczne identyfikatory RFID zawierające informacje o produkcie.

Połączenie technologii RFID z tekstyliami zyskuje na popularności, lecz nadal jest przedmiotem badań. Główną barierą jest problem związany z integracją identyfikatorów RFID, będących układami elektronicznymi, z wilgotnym środowiskiem, na przykład podczas procesu prania. W artykule [11] dokonano przeglądu kluczowych wymagań dla rozwoju inteligentnej odzieży z obsługą IoT oraz zbadano możliwe efekty jej zastosowania w modelach biznesowych. Autorzy proponują globalną architekturę IoT dla ubrań i urządzeń noszonych. Wskazują na aktualne zastosowania inteligentnej odzieży i przedstawiają koncepcję „internetu inteligentnej odzieży”, w której ubrania działają jako połączone ze sobą urządzenia IoT. Publikacja [12] z kolei

Autor korespondujący:

Mateusz Salach, m.salach@prz.edu.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 08.12.2023 r., przyjęty do druku 04.11.2024 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

wskazuje na istotne luki związane z aspektami materiałowymi inteligentnej odzieży. Autorzy wskazują potrzebę multidyscyplinarnego podejścia, które obejmuje współpracę specjalistów z dziedzin chemii, elektroniki, tekstyliów i testów jakościowych. W artykule omawiają krytyczne cechy tkanin, takie jak transfer ciepła i wilgoci, elastyczność, wytrzymałość na zużycie oraz wpływ na środowisko, a także istotne parametry jak przewodność elektryczna i impedancja, ważne dla pomiarów parametrów ciała. Dodatkowo, w pracy [13] omówiono nowatorskie rozwiązania technologiczne umożliwiające integrację anten tekstylnych z inteligentną odzieżą na potrzeby aplikacji IoT, przy szczególnym uwzględnieniu bezprzewodowych sieci czujników (WSN) oraz systemów RFID. W artykule zaprezentowano dwupasmową antenę tekstylną, działającą w zakresach GSM 900 i DCS 1800, umożliwiającą zbieranie energii elektromagnetycznej oraz integrację dzięki dielektrycznym właściwościom materiału tekstylnego. Autorzy opracowali siedem prototypów tych anten, wykonanych za pomocą laminowania i haftu. Wyniki badań wskazują, że orientacja tkaniny przewodzącej nie wpływa na wydajność anteny, natomiast kierunek oraz liczba ściegów haftu mogą znacząco wpływać na jej funkcjonalność. Co więcej, analiza wykazała, że proces integracji anteny z tkaniną nie powoduje pogorszenia jej parametrów działania.

W proponowanym rozwiązaniu założono, że oprócz informacji zawartych w identyfikatorze RFID, do określenia optymalnych parametrów prania niezbędne są bardziej szczegółowe, bieżąco aktualizowane dane dostarczane przez producentów środków piorących oraz odzieży. Postuluje się integrację urządzeń pralniczych z chmurą obliczeniową. Model demonstracyjny oparto na usłudze chmurowej Microsoft Azure IoT Hub oraz dedykowanym oprogramowaniu do zarządzania procesem prania. W artykule przedstawiono wyniki badań nad odczytem danych przez urządzenia pralnicze z identyfikatorów RFID zamieszczonych w odzieży oraz potencjalne kierunki dalszego rozwoju projektu.

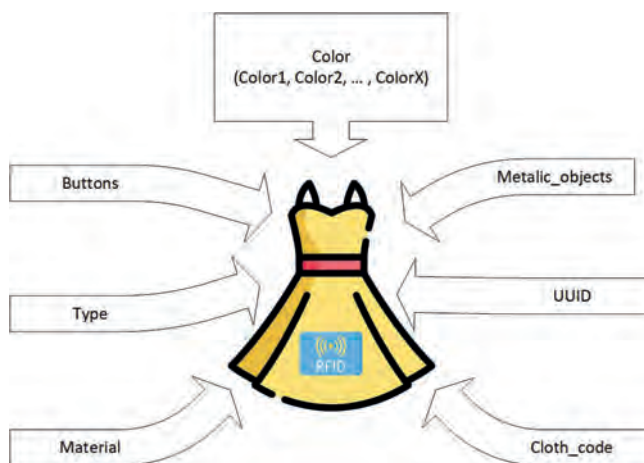
2. Inteligentny system pralniczy

Mimo powszechnego dostępu do domowych pralek, publiczne pralnie wciąż są popularne i stosowane nie tylko do czyszczenia tradycyjnej codziennej odzieży, ale przede wszystkim tekstyliów wymagających specjalistycznych zabiegów. Różnorodne tkaniny wymagają zastosowania odpowiednich środków piorących, które nie uszkodzą czyszczonego materiału. Niektóre ubrania wymagają delikatnych zabiegów, podczas gdy duża część może być traktowana konwencjonalnie. Ideą inteligentnego systemu prania jest dostosowanie środków chemicznych, ich dozowania i grupowania w oparciu o zestaw tkanin umieszczonych w bębnie pralki. Biorąc pod uwagę szeroką gamę dostępnych detergentów do prania i ciągle pojawiające się nowych płynów i proszków, przechowywanie informacji o nich wraz z odzieżą byłoby nieoptymalnym rozwiązaniem. W takiej sytuacji, produkty tekstylne wymagałyby regularnych aktualizacji kompatybilności z nowymi rozwiązaniami branży chemicznej. Znacznie bardziej elastycznym i przyszłościowym rozwiązaniem jest przechowywanie danych w globalnym zasobie, takim jak rozwiązania chmurowe, gdzie baza danych może być aktualizowana w dowolnym momencie. Pozwala to na stosowaniu detergentów, już od momentu wprowadzenia ich na rynek. Ideę działania inteligentnego klastra urządzeń myjących przedstawiono na rys. 1.

Każde urządzenie jest wyposażone w moduł Ethernet lub Wi-Fi do komunikacji z siecią. Precyzyjne określenie rodzaju tkaniny jest możliwe na podstawie danych zawartych bezpośrednio w tekstyliach. Założono tutaj, że tekstylia wyposażone są w identyfikatory RFID [14], które zawierają niezbędne informacje, umożliwiające automatyczne rozpoznanie rodzaju materiału i dostosowanie parametrów prania.



Rys. 1. Klaster inteligentnych urządzeń pralniczych
Fig. 1. Cluster of smart washing devices



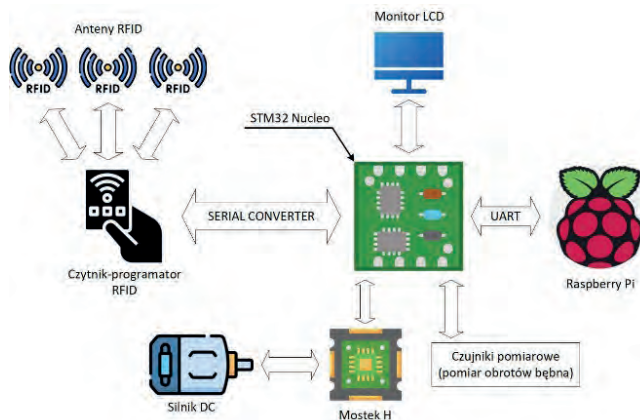
Rys. 2. Struktura danych w pamięci identyfikatora RFID
Fig. 2. Data structure in the memory of the RFID tag

Na rys. 2 przedstawione zostały dane przechowywane w pamięci identyfikatora RFID. Ważnym elementem jest *Cloth_code* czyli specjalny ciąg znaków nadawany np. przez producentów podczas produkcji, potwierdzający, że jest to materiał odpowiedni do prania. Klucz ten jest weryfikowany w chmurowej bazie danych w celu potwierdzenia rodzaju materiału. UUID (ang. *Universally Unique Identifier*) służy jako unikalny numer identyfikacyjny produktu. Można go sprawdzić w bazie danych pod kątem istnienia i na jego podstawie wybrać idealne warunki prania na podstawie zaleceń producenta. W przypadku braku rekordów związanych z konkretnym materiałem, brane są pod uwagę inne parametry, takie jak typ, tkanina i kolor. Klucze bezpieczeństwa oraz funkcja blokady zapisu zapobiegają wprowadzeniu niewłaściwych materiałów lub komponentów do urządzenia pralniczego, chroniąc tym samym urządzenie przed potencjalnymi uszkodzeniami. Tryb off-line musi być zapewniony na wypadek problemów z połączeniem sieciowym. Jednak po wykryciu odpowiednich tkanin dane off-line są aktualizowane informacjami uzyskanymi z chmury.

3. Prototyp rozwiązania

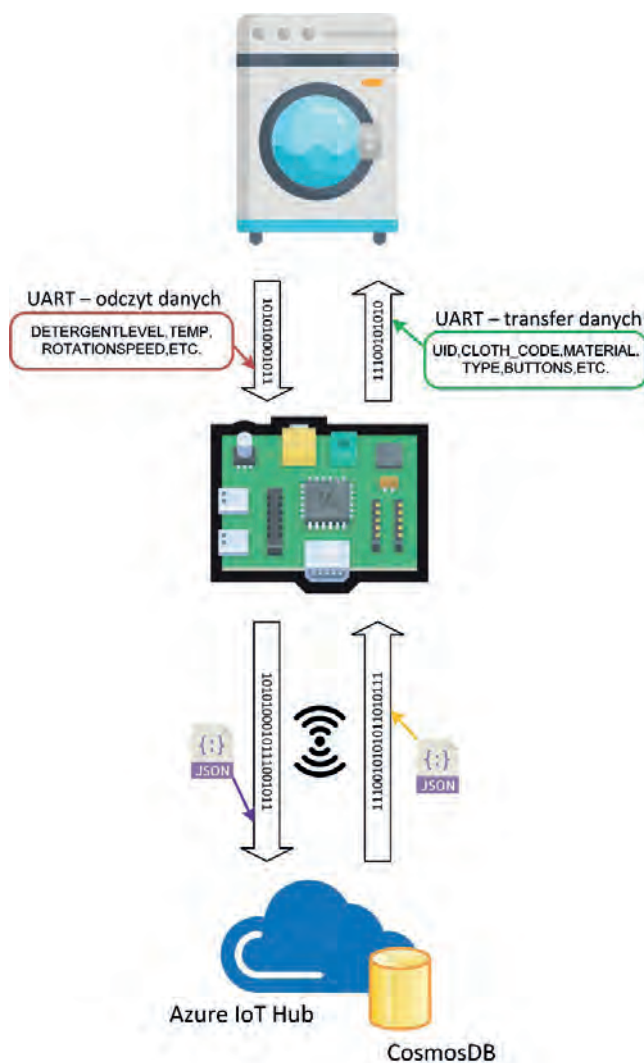
W celu przeprowadzenia testów prezentowanego rozwiązania opracowano moduł sterujący dla urządzenia pralniczego zawierający czytnik RFID FEIG [18] typu RWD (ang. *Read/Write Device*) współpracujący z trzema zewnętrznymi antenami. Moduł zbudowano w oparciu o oficjalną płytkę deweloperską Nucleo-64 z mikrokontrolerem STM32, 32-bitowym procesorem Cortex-M4, 512 KB pamięci FLASH i 128 KB pamięci RAM. Do układu podłączono dotykowy wyświetlacz LCD, czyt-

nik/programator RFID i sterownik silnika DC do sterowania obrotami bębna. Do komunikacji internetowej wykorzystano mikrokomputer typu SBC (ang. *Single Board Computer*) na platformie Raspberry Pi 4 z systemem operacyjnym Raspberry Pi OS Lite. Do komunikacji między platformami zastosowano interfejs UART. Schemat funkcjonalny urządzenia przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Uproszczony schemat połączeń i komunikacji między komponentami elektronicznymi

Fig. 3. Simplified diagram of connections and communication between electronic components



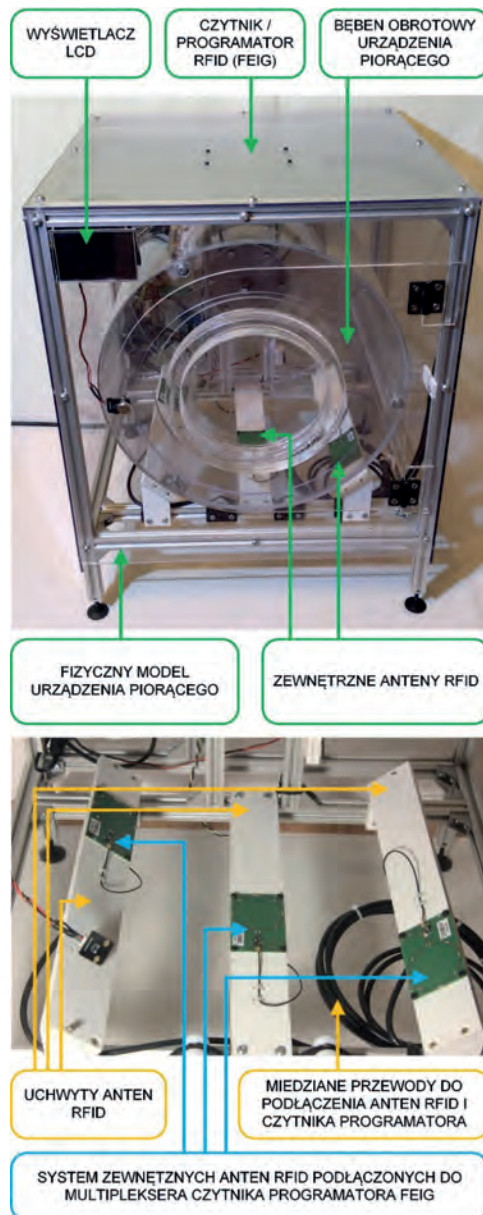
Rys. 4. Koncepcja transmisji danych między pralką a chmurą obliczeniową

Fig. 4. The concept of data transmission between washing machine and computing cloud

Po umieszczeniu w urządzeniu tekstyliów wyposażonych w identyfikatory RFID rozpoczyna się proces identyfikacji. Bęben wykonuje obroty z krótkimi przerwami na odczyt danych za pomocą czytnika RFID. Zebrane informacje są pobierane i agregowane przez działający na Raspberry Pi skrypt w języku Python. Dane te są następnie przesyłane do dalszej obróbki i interpretacji w zewnętrznej usłudze chmurowej.

W projekcie wykorzystano IoT Hub z platformy chmurowej Azure, integrującej centralną bazę danych z rozproszonym klastrem urządzeń pralniczych. Wysyłane do chmury dane tekstyliów są wyszukiwane w bazie danych. Odpowiadające tkaninie informacje z bazy służą do określenia instrukcji i parametrów prania. Informacje te są wysyłane do właściwego urządzenia pralniczego. Dane uzyskane z chmury obliczeniowej przesyłane są do Raspberry Pi, które odpowiednio interpretuje przychodzące informacje i wysyła informacje za pośrednictwem interfejsu UART do mikrokontrolera STM32. Zawierają one szczegóły dotyczące prania, takie jak dozowanie detergentu, ustawienia obrotów bębna i liczba płukań. Przepływ danych w opracowanym systemie przedstawiono na uproszczonym schemacie na rys. 4.

Każde z urządzeń jest identyfikowane przez unikalny identyfikator przypisany w platformie Azure, dzięki czemu możliwa jest indywidualna obsługa każdego urządzenia. Oznacza to także



Rys. 5. Fizyczna implementacja prototypu urządzenia pralniczego

Fig. 5. Physical implementation of the washing machine prototype

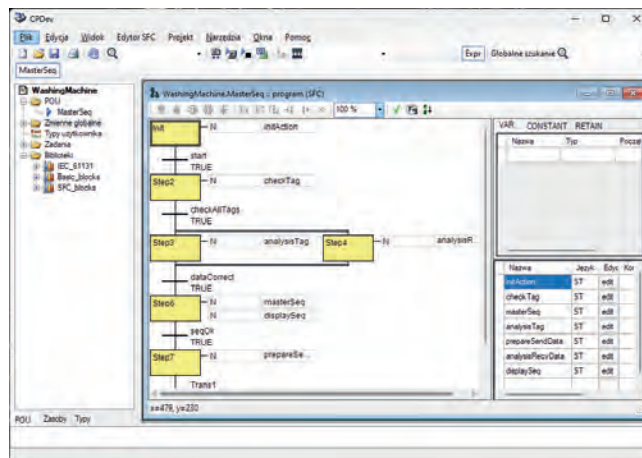
konieczność uwierzytelnienia urządzenia w usłudze chmurowej przed przesłaniem jakichkolwiek informacji. Rejestracja w Azure IoT Hub powoduje wygenerowanie specjalnego łańcucha połączenia wraz z poświadczeniami logowania (kluczami), pozwalającymi na identyfikację urządzenia w chmurze.

Na podstawie opracowanej koncepcji przygotowano fizyczny model urządzenia pralniczego wyposażonego w proponowany system identyfikacji ubrań. Zdjęcia prototypu z oznaczonymi podstawowymi elementami składowymi przedstawiono na rys. 5. Do konstrukcji bębna wykorzystano poliwęglan i płytę PETG, co pozwala symulować działanie pralki z automatyczną identyfikacją zawartości. Model jest wyposażony w czytnik identyfikatorów RFIDtex opracowanych na Politechnice Rzeszowskiej [15, 16]. W dolnej części bębna umieszczono po przekątnej trzy anteny czytnika RFID. Zaproponowane umiejscowienie pozwala na zwiększenie odległości między antenami jednocześnie nie oddalając ich zbyt od umieszczonych ubrań w bębnie, poprawiając pokrycie strefy odpytania IZ (ang. *Interrogation Zone*). Bęben w modelu umożliwia identyfikację grup transponderów podczas ruchu, co naśladuje warunki w rzeczywistej pralce, jednak bez napełniania wodą. Proces identyfikacji oraz ewentualne wyjmowanie nieodpowiednich ubrań odbywa się przed napełnieniem bębna, co pozwala na wybór właściwego programu prania na podstawie parametrów zapisanych na tekstonicznych identyfikatorach RFID. Zastosowany na płycie czołowej ekran LCD pozwala na przekazanie informacji związanych z zalecanym detergentem i proszkiem do prania dostarczonym przez producenta.

4. System sterowania

Autonomiczne urządzenie pralnicze wymaga przygotowania złożonych algorytmów sterowania. Znaczne różnice między systemem agregującym dane i sterującym pracą a komunikującym z chmurą obliczeniową wymagały przeanalizowania i opracowania optymalnego rozwiązania implementacji oprogramowania sterującego. Cechą urządzenia pralniczego jest sekwencyjność działań, która jest bliska automatyce przemysłowej. Języki normy IEC 61131-3, takie jak ST, LD, FDB, IL, SFC pozwalają na przejrzyste opracowanie systemu sterowania cechującego się bezpieczeństwem, niezawodnością oraz czytelnością. W prototypie urządzenia pralniczego zaimplementowano niskoenergetyczny sterownik programowalny [17] na komputerze STM32. Opracowany system wbudowany podzielony został na dwie niezależnie współpracujące części: część sterowania z wykorzystaniem maszyny wirtualnej CPDev oraz część komunikacyjną.

System sterowania opracowano w oparciu o uniwersalne i przenaszalne oprogramowanie wykonawcze CPDev. Jego podstawowym zadaniem jest obsługa logiki działania urządzenia. W początkowej fazie pracy urządzenia czyli po umieszczeniu tekstyliów w bębnie pralki rozpoczyna się sekwencja odczytu identyfikatorów. Komunikacja z identyfikatorami może być przeprowadzona nawet kilkakrotnie z przerwą na przemieszczanie ubrań w bębnie. Zachowanie to ma na celu zminimalizowanie liczby nieodczytanych identyfikatorów. Następnie zgodnie ze schematem na rys. 4 dane są przesyłane do komputera nadrzędnego, a po poprawnej komunikacji z chmurą obliczeniową i otrzymaniu nowego zestawu instrukcji realizowana przez mikrokontroler jest sekwencja prania zgodna z wszystkimi tekstyliami umieszczonymi w urządzeniu. W przypadku napotkania konfliktu uniemożliwiającego bezpieczne przeprowadzenie operacji czyszczenia, przekazywany jest komunikat do operatora na wyświetlaczu LCD. Przykładem takiej sytuacji jest umieszczenie w bębnie czarnych i białych ubrań. Opisany program sterujący opracowany został w języku SFC (rys. 6) i wykonywany jest w ramach maszyny wirtualnej CPDev zaimplementowanej na mikrokontrolerze STM32.



Rys. 6. Pakiet inżynierski CPDev z diagramem SFC sterowania urządzeniem pralniczym

Fig. 6. CPDev engineering package with SFC diagram of laundry device control

Za niskopoziomową wymianę informacji oraz obsługę modułów wejść/wyjść odpowiada druga część oprogramowania. Uruchomiony system wbudowany zajmuje się niskopoziomą inicjalizacją peryferii, komunikacją oraz obsługą przerwań. Oprogramowanie przygotowane zostało zgodnie z zasadami bibliotek HAL (ang. *Hardware Abstraction Layer*) opracowanej przez firmę STMicroelectronics. Komunikacja z maszyną wirtualną opiera się o mechanizm współdzielenia zmiennych globalnych, które są zapisywane lub odczytywane z pamięci danych przed lub po wykonaniu cyklu sterującego.

Zastosowany podział pozwala skutecznie rozdzielić część sterującą od niskopoziomowych implementacji komunikacji i obsługi peryferii. Zastosowanie maszyny wirtualnej pozwala na aktualizację algorytmu sterowania w locie (ang. *On the Fly Update*) oraz zdalne debugowanie podczas nieprzerwanej pracy całego systemu.

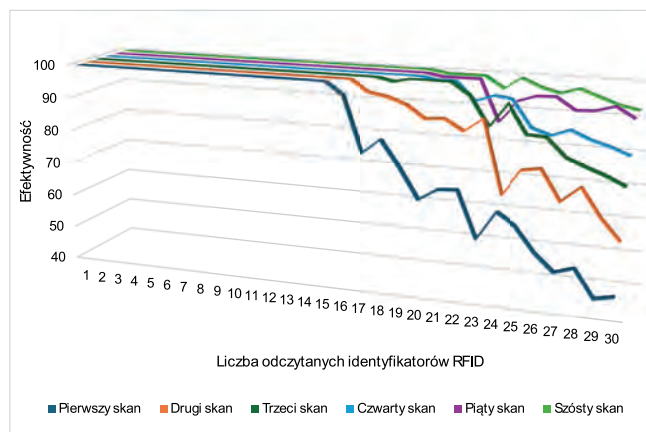
5. Badania odczytu danych tekstylnych

W ramach prac badawczych przeprowadzono analizy dokładności wykrytych obiektów w urządzeniu pralniczym. Do określenia liczby skanów wymaganych do poprawnego odczytania wszystkich identyfikatorów wewnątrz pralki wykorzystano 30 identyfikatorów RFID. Wyniki przedstawiono na rys. 7.

W przypadku dwukrotnego obrotu bębna można zaobserwować znaczną poprawę odczytu informacji o tkaninie względem pojedynczego cyklu skanowania. Dokładność odczytu wynosi 100 % dla zakresu od 1 do 16 ubrań wewnątrz pralki. Wartość ta zaczyna spadać od 17 ubrań, ale w zakresie od 17 do 21 identyfikatorów poziom dokładności nadal utrzymuje się powyżej 90 %, co jest zadowalającym wynikiem. Najniższa wartość dla dwukrotnego skanu wynosi 60 % i pojawia się dopiero przy 30 ubraniach, podczas gdy w przypadku pojedynczego obrotu najniższa wartość pojawiła się przy 29 ubraniach i wynosiła 44 %.

Zwiększenie liczby skanów do trzech, zauważalnie poprawiło efektywność pracy systemu. Skanowanie osiągnęło wartość 100 % nawet dla 21 identyfikatorów RFID. Poziom dokładności pozostał powyżej 90 % dla 22 i 24 identyfikatorów. W przypadku pomiaru 23 identyfikatorów wartość ta osiągnęła 88 %. Może to być związane z brakiem zasilania pamięci identyfikatorów RFID, co obniżyło wyniki pomiaru dokładności. Warto zauważyć, że nawet dla 30 ubrań wewnątrz pralki poziom dokładności odczytu wynosił powyżej 70 %.

Dalsze zwiększanie liczby obrotów pozwoliło zweryfikować maksymalną możliwą dokładność odczytu w proponowanym prototypie. Chociaż poprzednie wyniki wykazały znaczny



Rys. 7. Wydajność odczytu identyfikatorów RFID w zależności od ich liczby w bębnie dla 1–6 skanów

Fig. 7. Efficiency of reading RFID tags depending on their number in the drum for 1–6 scans

wzrost poziomu dokładności, odczyty nadal były poniżej 80 % w najtrudniejszym przypadku. Jak można zaobserwować, poziom dokładności dla 21 ubrań w bębnie jest zbliżony dla 4–6 obrotów. W przypadku wartości 20–21 następuje niewielki spadek do około 99 %. Warto jednak zwrócić uwagę na zmianę wyników odczytu dla zakresu 27–30 ubrań. Dokładność odczytu znacznie się poprawiła dla czterech obrotów, co dało ponad 80 % dokładności dla 30 identyfikatorów RFID. W przypadku pięciu skanów można zaobserwować kolejny skok dokładności dla wartości końcowych. W przypadku 30 ubrań wewnątrz inteligentnego urządzenia pralniczego poziom dokładności osiągnął ponad 90 %, podobnie jak we wszystkich pozostałych przypadkach. Można jednak zauważyć, że zwiększenie liczby obrotów bębna nie wpłynęło znacząco na wartości w zakresie 23–26 identyfikatorów RFID. Aby zweryfikować wyniki, wykonano 6-krotny obrót bębna. Można zauważyć, że dokładność dla 30 ubrań nie zmieniła się znacząco, z zaledwie 1 % wzrostem. Jednak poziom odczytu dla zakresu 23–28 identyfikatorów RFID nieznacznie się poprawiły.

Ostatnie dwa skany pokazują, że poziom dokładności ustabilizował się, a kolejne obroty nie wpływają znacząco na dane odczytywane z pamięci identyfikatorów wewnątrz bębna urządzenia. Dodatkowe skany mogą powodować zmiany na poziomie maksymalnie 1–2 %, co nie przynosi znaczących zmian biorąc pod uwagę najniższą wartość 92 %.

6. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano koncepcję oraz implementację inteligentnego systemu zarządzania pralnią połączoną z chmurą obliczeniową. Parametry i konfiguracje prania są pobierane bezpośrednio z usługi Microsoft Azure. Na potrzeby weryfikacji proponowanej koncepcji opracowano laboratoryjny model pralki, umożliwiający przeprowadzenie testów. W ramach badań dokonano analizy dokładności rozpoznawania rodzajów tkanin, co jest kluczowe dla automatyzacji procesów prania, zwłaszcza w pralniach publicznych, gdzie każda tkanina musi być poprawnie zidentyfikowana. Wyniki analiz wykazały wysoką dokładność odczytu danych z identyfikatorów RFID po wykonaniu 5–6 skanów, odpowiadających pełnym obrotom bębna.

W kolejnych etapach prac konieczne będzie skonstruowanie bębna z materiałów umożliwiających przeprowadzanie standardowych procesów prania w obecności wody oraz w zmieniających się warunkach temperaturowych. Te aspekty mogą otworzyć nowy obszar badawczy, uwzględniając wpływ warunków środowiskowych na działanie identyfikatorów oraz na efektywność procesu identyfikacji. W ramach wdrożeń autorzy

planują wprowadzić możliwość ręcznej modyfikacji informacji o materiale przed rozpoczęciem cyklu prania oraz opracowanie aplikacji mobilnej umożliwiającej zarządzanie pralką, w tym odczytywanie aktualnych materiałów wewnątrz urządzenia.

Bibliografia

- Rathi K., Sharma V., Gupta S., Bagwari A., Tomar G.S., *Home Appliances using IoT and Machine Learning: The Smart Home*, [In:] 14th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN). Al-Khobar, Saudi Arabia: IEEE, 2022, 329–332, DOI: 10.1109/CICN56167.2022.10008294.
- Sianaki O.A., Yousefi A., Tabesh A.R., Mahdavi M., *Internet of everything and machine learning applications: Issues and challenges*, [In:] 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), 2018, 704–708, DOI: 10.1109/WAINA.2018.00171.
- Albons B.V., Yusof K.H., Mahamarowi N.H., Ahmad A.S., Azlan A.S.M., *Designation of a Home Automation System using Nodemcu with Home Wireless Control Appliances in Traditional Malay House*, [In:] 2022 Engineering and Technology for Sustainable Architectural and Interior Design Environments (ETSAIDE), Manama, Bahrain: IEEE, 2022, DOI: 10.1109/ETSAIDE53569.2022.9906385.
- Nur-A-Alam, Ahsan M., Based M.A., Haider J., Rodrigues E.M.G., *Smart Monitoring and Controlling of Appliances Using LoRa Based IoT System*, "Designs", Vol. 5, No. 1, 2021, DOI: 10.3390/designs5010017.
- Hubacz M., Sadolewski J., Trybus B., *Wydajność architektury STM32 w zakresie wykonywania kodu pośredniego dla systemów sterowania*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, R. 25, Nr 1, 2021, 27–34, DOI: 10.14313/PAR_239/27.
- Subramanian S., Bindhu M., Umathe S., Rao S., Deivasigamani S., Ramarao M., *Wireless Sensor & RFID Based Smart Energy Management for Automated Home*, [In:] 2022 International Conference on Augmented Intelligence and Sustainable Systems (ICAISS), India: IEEE, 2022, 1125–1129, DOI: 10.1109/ICAISS55157.2022.10010710.
- Bolanowski M., Gerka A., Paszkiewicz A., Ganzha M., Paprzycki M., *Application of Genetic Algorithm to Load Balancing in Networks with a Homogeneous Traffic Flow*, [In:] Computational Science – ICCS 2023, J. Mikyška, C. De Mulatier, M. Paszynski, V.V. Krzhizhanovskaya, J.J. Dongarra, P.M. Sloot, Eds. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023, Vol. 14074, 314–321, series Title: Lecture Notes in Computer Science. DOI: 10.1007/978-3-031-36021-3_32.
- Sinkevych O., Monastyrskiy L., Sokolovskiy B., Boyko Y., Matchyshyn Z., *Estimation of Smart Home Thermophysical Parameters Using Dynamic Series of Temperature and Energy Data*, [In:] IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Ukraine: IEEE, 2019, 934–937, DOI: 10.1109/UKRCON.2019.8879944.
- Stroja N., Moga D., Petreus D., Lodin A., Muresan V., Danubianu M., *Integrated Smart-Home Architecture for Supporting Monitoring and Scheduling Strategies in Residential Clusters*, "Buildings", Vol. 12, No. 7, 2022, DOI: 10.3390/buildings12071034.
- Corches C., Daraban M., Miclea L., *Availability of an RFID Object-Identification System in IoT Environments*, "Sensors", Vol. 21, No. 18, 2021, DOI: 10.3390/s21186220.
- Fernández-Caramés T.M., Fraga-Lamas P., *Towards The Internet of Smart Clothing: A Review on IoT Wearables and Garments for Creating Intelligent Connected E-Textiles*, "Electronics", Vol. 7, No. 12, 2018, DOI: 10.3390/electronics7120405.

12. Wilson S., Lain, R., *Fabrics and Garments as Sensors: A Research Update*. "Sensors", Vol. 19, No. 16, 2019, DOI: 10.3390/s19163570.
13. Loss C., Gonçalves R., Lopes C., Pinho P., Salvado R., *Smart Coat with a Fully-Embedded Textile Antenna for IoT Applications*. "Sensors", Vol. 16, No. 6, 2016, DOI: 10.3390/s16060938.
14. Pawłowicz B., Kamuda K., Skoczylas M., Jankowski-Mi-
hułowicz P., Węglarski M., Laskowski G., *Identification
efficiency in dynamic UHF RFID anticollision systems
with textile electronic tags*, "Energies", Vol. 16, No. 6, 2023,
DOI: 10.3390/en16062626.
15. Jankowski-Mi-
hułowicz P., Węglarski M., Chamera M., Pyt P.,
Textronic UHF RFID Transponder, "Sensors", Vol. 21,
No. 4, 2021, DOI: 10.3390/s21041093.
16. Jankowski-Mi-
hułowicz P., Węglarski M., Pyt P., Skrobacz K.,
Karpiński K., *UHF Textronic RFID Transponder with
Bead-Shaped Microelectronic Module*, "Electronics", Vol.
12, No. 23, 2023, DOI:10.3390/electronics12234873.
17. Hubacz M., Pawłowicz B., Trybus B., *Architektura nisko-
energetycznego uniwersalnego sterownika programowal-
nego*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, R. 26, Nr 4, 2022,
79–84, DOI: 10.14313/PAR_246/79.

Inne źródła

18. UHF Mid-Range Reader Module with integrated Multi-
plexer – ID MRMU102 – Identification – Products | FEIG
ELECTRONIC

Laundry Control System Using Textronics and Cloud Computing

Abstract: The paper presents a model and implementation of a distributed laundry management system utilizing textiles and cloud computing, enabling intelligent control of the washing process through the use of RFID identifiers in textiles and connecting devices to the Azure IoT Hub service. Textiles equipped with RFID identifiers are automatically recognized, allowing for optimal adjustment of washing parameters based on the type of material. The communication module, based on the Raspberry Pi microcomputer, works in conjunction with the STM32 microcontroller, transmitting data to the cloud, where it is analyzed to provide recommendations regarding detergents, washing times, and other settings. A prototype of the control system was developed in the form of a sequential algorithm using CPDev software. Based on the laboratory model, measurements were conducted to assess the accuracy of textile identification, which helped determine the optimal number of scans.

Keywords: RFID, textronics, cloud computing, smart clothing

mgr inż. Marcin Hubacz

m.hubacz@prz.edu.pl
ORCID: 0000-0002-2748-11454

W 2019 r. ukończył studia na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej – kierunku Automatyka i Robotyka oraz Informatyka. Obecnie Asystent w Katedrze Informatyki i Automatyki Politechniki Rzeszowskiej. Jego główne zainteresowania dotyczą robotyki, elektroniki, systemów wbudowanych oraz druku 3D.



mgr inż. Mateusz Salach

m.salach@prz.edu.pl
ORCID: 0000-0002-9199-3460

Asystent w Zakładzie Systemów Złożonych Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Zajmuje się rozwiązaniami i badaniami z zakresu Internetu Rze-
czy, VR oraz Smart City.



dr inż. Bartosz Trybus

btrybus@kia.prz.edu.pl
ORCID: 0000-0002-4588-3973

Adiunkt w Katedrze Informatyki i Automatyki Politechniki Rzeszowskiej. Ukończył studia na Wydziale Elektrycznym, Automatyki, Informatyki i Elektroniki AGH w Krakowie. Doktorat z informatyki uzyskał w 2004 r. Jego główne badania dotyczą systemów czasu rzeczywistego i środowisk wykonawczych oprogramowania sterującego.



dr inż. Bartosz Pawłowicz

barpaw@prz.edu.pl
ORCID: 0000-0001-9469-2754

Adiunkt w Katedrze Systemów Elektronicznych i Telekomunikacyjnych Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Doktorat w dyscyplinie telekomunikacja uzyskał na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki AGH w Krakowie w 2012 r. Jego główne badania dotyczą systemów identyfikacji bezstykowej RFID i ich zastosowań.

