

Model urządzenia piorącego wykorzystującego tekstroniczne transpondery RFID

Marcin Hubacz, Bartosz Pawłowicz, Mateusz Salach, Bartosz Trybus

Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, ul. Wincentego Pola 2, 35-021 Rzeszów

Sebastian Kołcz

Agendo Sp. z o.o., ul. Tarczyńska 22/13, 02-023 Warszawa

Streszczenie: Tekstroniczne transpondery RFID rozszerzają możliwości projektantów sprzętu AGD. Nowego zastosowania można doszukać się w technice pralniczej, gdzie za pomocą transponderów RFID wszytych w odzież możliwe jest zakodowanie informacji i późniejsze ich wykorzystanie do wyboru najlepszego programu prania dla danego rodzaju tkaniny lub prowadzenia statystyk zużycia materiału. W ramach prac zaprojektowany i zbudowany został model demonstracyjny urządzenia piorącego wykorzystującego do swojego działania transpondery (identyfikatory) RFIDtex. Przygotowano system sterowania dla zbudowanego modelu pralki wyposażonej w urządzenie RWD (Read-Write Device), wspierający podejmowanie decyzji o wyborze danej funkcji na podstawie danych dostarczanych przez identyfikatory RFIDtex zintegrowane z odzieżą. W ramach prac sprawdzono również skuteczność działania urządzenia z wykorzystaniem przygotowanych próbek.

Słowa kluczowe: RFID, tekstronika, AGD, Internet Rzeczy, CPDev

1. Wprowadzenie

Naturalną cechą człowieka jest poszukiwanie sposobów ułatwienia codziennego życia. Szczególnie poszukujemy rozwiązań dla czynności, które są przez nas regularnie powtarzane, jak pranie ubrań, przygotowywanie posiłków i inne. Już w 1858 r. Hamilton Smith zgłosił pierwszy patent na pralkę wykorzystującą bęben obrotowy, a blisko 20 lat później, w 1874 r., William Blackstone zaprojektował urządzenie piorące jako prezent dla żony [1]. Rozwój napędów elektrycznych w XX w. umożliwił uproszczenie budowy i zintegrowanie całego napędu pralki [2]. Przez lata zasada prania ubrań z wykorzystaniem wody i detergentów nie zmieniała się, ale sama konstrukcja pralki była ciągle unowocześniana. Mimo wielu zmian na przestrzeni całego okresu eksploatacji urządzeń piorących użytkownik nadal decyduje o tym, co umieszcza w bębnie oraz jakie detergenty i parametry prania stosuje do włożonej mieszaniny różnych rodzajów ubrań. Wybór choćby jednego złego elementu z grupy zróżnicowanych ustawień może spowodować nieodwracalne uszkodzenia.

Rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie odpowiednich algorytmów, które przejęłyby etap decyzyjny, odciążając tym samym użytkownika od rutynowych działań. Aby to było możliwe system wbudowany musi zostać poinformowany o zawartości bębna. Ręczne wprowadzanie danych o parametrach ubrań na panelu pralki jest często mało wygodne i uciążliwe. Aby usprawnić ten etap można w odzieży umieścić identyfikatory, na podstawie których będzie można bezprzewodowo uzyskać dokładne informacje o materiale i zaleceniach jego konserwacji. Potencjalnym nośnikiem danych jest transponder tekstroniczny RFIDtex opracowany na Politechnice Rzeszowskiej [3].

Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań opartych na technice RFID w sprzęcie AGD może pomóc wypracować zupełnie nowe, odmienne podejście do prania automatycznego. Zaangażowanie użytkownika w cały proces obsługi można ograniczyć do niezbędnego minimum. Temperatura wody, ilość detergentu, liczba poszczególnych powtórzeń etapów czy prędkość obrotowa bębna mogą zostać automatycznie dostosowane do zawartości bębna. Potencjał jest znacznie większy, gdy wykorzystamy rozwiązania z obszaru Internetu Rzeczy. Dzięki temu dla nowych tkanin programy prania zawsze będą aktualne, a samo urządzenie piorące nie będzie wyłącznie skonfigurowane pod kilka lub kilkanaście stałych, mało modyfikowalnych planów pracy. W tej idei można pójść o krok dalej, zbierając informacje zwrotne, na przykład o degradacji materiału, czy generując dokładne statystyki. W przemysłowym, a więc masowym wykorzystaniu, jak w branży hotelarskiej, pozwoli to na optymalizację kosztów za pomocą świadomego wybierania jakości pościeli czy ręczników. Proponowane podejście może przedłużyć żywotność ubrań, zoptymalizować zużycie wody, energii elektrycznej i detergentów czyniąc codzienny proces bardziej ekologicznym.

Autor korespondujący:

Marcin Hubacz, m.hubacz@prz.edu.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 23.10.2022 r., przyjęty do druku 09.11.2022 r.



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

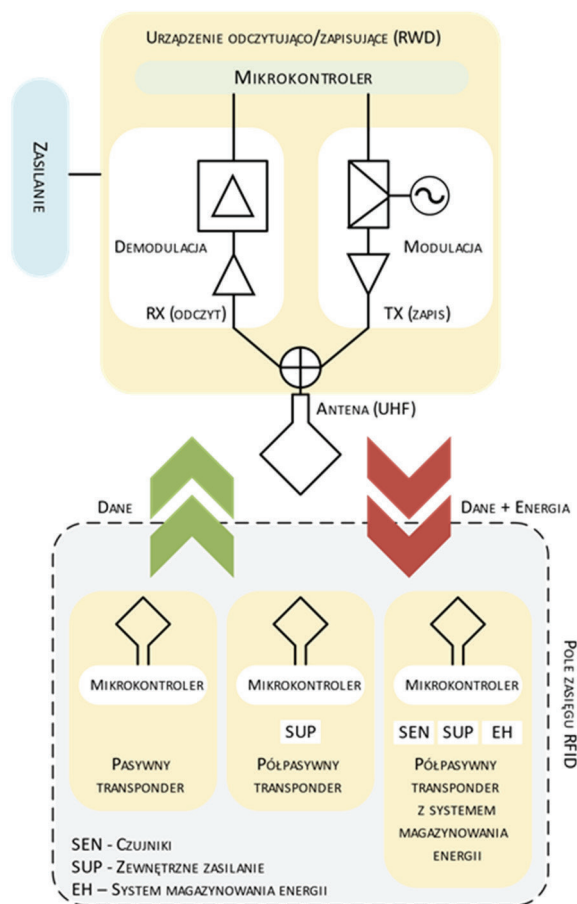
Niestety, pralki wykorzystujące systemy RFID nie są dostępne na rynku konsumenckim. Aktualne badania dotyczą samego wpływu procesu prania na transpondery tekstylne RFID w standardowych pralkach [4, 5]. W rezultacie nie było możliwe przetestowanie działania eksperymentalnych transponderów RFIDtex w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Stąd zaistniała potrzeba zbudowania modelu pralki automatycznej, umożliwiającego badania laboratoryjne oraz badania skuteczności odczytu danych z transponderów tektonicznych zintegrowanych z tkaninami. Dopiero w przypadku zapewnienia wysokiej skuteczności identyfikacji i przeprowadzenia kompleksowego odczytu informacji z pamięci transponderów wbudowanych w tkaniny, możliwe jest zaimplementowanie zaawansowanej funkcjonalności.

Opracowany model pozwala na symulację pierwszej fazy prania tkanin, czyli umieszczanie tkanin z naszytymi transponderami w bębnie i sterowanie bębniem w taki sposób, aby możliwe było odczytanie informacji o znajdujących się w nim tekstyliach. Założono, że program sterujący pracą modelu powinien sugerować najlepszy program prania dla tkanin umieszczonych w bębnie. W pracy opisano strukturę mechaniczną, elektryczną i elektroniczną modelu laboratoryjnego oraz wstępne badania skuteczności identyfikacji tkanin za pomocą zintegrowanych transponderów RFIDtex. Odrębnym przedmiotem badań pozostają procedury związane z algorytmami odczytu transponderów, modelem protokołu komunikacyjnego oraz doбором odpowiedniego programu mycia.

2. System RFID

Podstawowy system identyfikacji radiowej (RFID) złożony jest z urządzenia odczytującego-zapisującego (RWD) wyposażonego w co najmniej jedną antenę oraz co najmniej jednego transpondera (ID), który zawiera w swojej strukturze obwód anteny, mikroprocesor i pamięć (rys. 1). W zintegrowanej pamięci transpondera zawiera się numer seryjny i inne spreparowane dane o identyfikowanym obiekcie. Dane odczytane za pomocą RWD są najczęściej przekazywane do dalszej analizy. Możliwe jest również zapisywanie danych do pamięci transpondera. Pozwala to na aktualizację zawartości pamięci transpondera na różnych etapach cyklu życia identyfikowanego obiektu. Proces wymiany danych między RWD a ID odbywa się tylko w strefie odpytywania (IZ) systemu RFID [6]. Definicję IZ można rozumieć jako grupę warunków polowych, elektrycznych i komunikacyjnych, które muszą być spełnione aby uzyskać pewne rozpoznanie wielu obiektów oznaczonych transponderami. Jeżeli w IZ znajduje się tylko jeden obiekt z ID, proces rozpoznawania obiektu nazywany jest identyfikacją pojedynczą. Jeżeli w IZ znajduje się wiele obiektów wyposażonych w ID, wymiana danych z nimi wszystkimi odbywa się z wykorzystaniem mechanizmu antykolizyjnego zgodnie z algorytmem określonym przez protokół i nazywa się to identyfikacją wielokrotną [7].

W ostatnich pracach badawczych synteza IZ obejmowała badania eksperymentalne oraz obliczenia analityczne i numeryczne zasięgu systemu RFID [8], ale w rzeczywistych wdrożeniach często stosowana jest metoda prób i błędów [9]. W przypadku, gdy wewnątrz IZ znajduje się wiele obiektów, a ich położenie i orientacja może zmieniać się dynamicznie, obliczenia parametrów systemu RFID są jeszcze bardziej wymagające ze względu na parametry opisujące dynamikę zmian w systemie. Aby usystematyzować działanie systemów RFID, opracowano kilka standardów. Najpopularniejszymi przykładami są ISO 15693 [10], ISO 14443 [11] oraz ISO 18000 [12].



Rys. 1. Uproszczony schemat działania systemu RFID z różnymi rodzajami transponderów

Fig. 1. A simplified diagram of an RFID system operation with different types of transponder

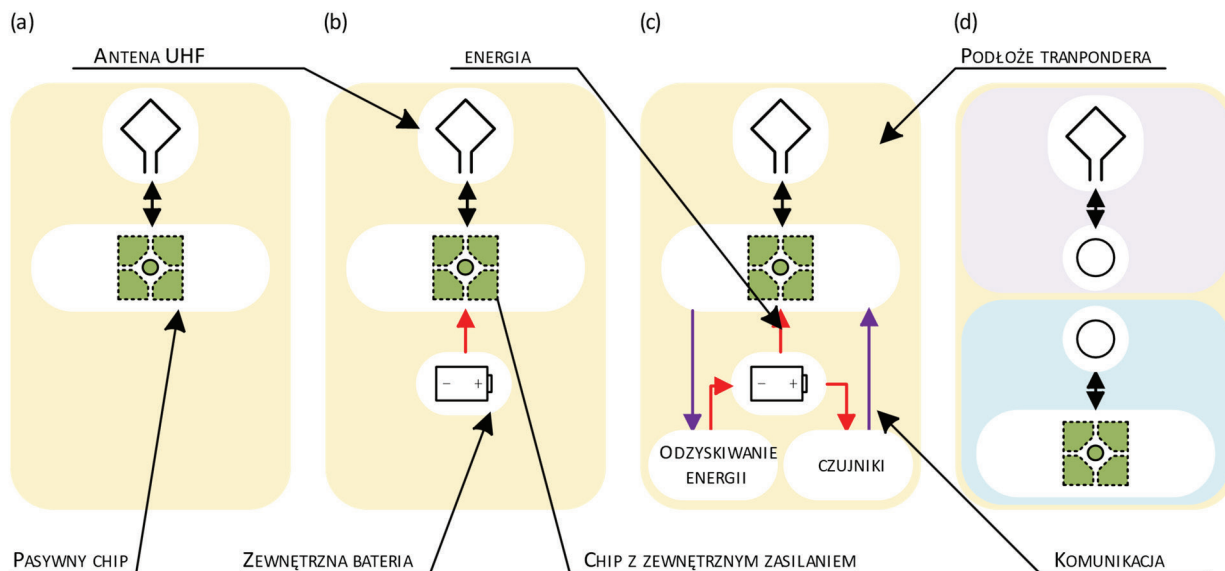
3. Typy transponderów RFID

Warunki pracy proponowanego systemu RFID podyktowały wybór transponderów zgodnych z normą ISO 18000-63. Umożliwiają one identyfikację wielu obiektów jednocześnie, dzięki zaimplementowanym w normie protokołom antykolizyjnym.

Systemy identyfikacji radiowej RFID UHF pracują zazwyczaj w zakresie 860–960 MHz, a także na częstotliwościach 2,45 GHz i 5 GHz. Wybór wartości częstotliwości pracy zależy od regionu świata. Na kontynencie europejskim systemy RFID działają w zakresie 865–870 MHz zgodnie z protokołem określonym przez normę ISO/IEC 18000-63. Obecnie w tym zakresie częstotliwości funkcjonują cztery rodzaje transponderów: pasywne, półpasywne, półpasywne z systemem zbierania energii oraz tektoniczne.

Najpopularniejszy transponder pasywny RFID zawiera antenę i chip (rys. 2a). Podłoże może przybierać różne kształty, zazwyczaj są to breloki, karty, etykiety, szklane tuby, krążki, monety. Mogą być wykonane z materiałów takich jak ceramika, plastik, metal, szkło itp. Dostęp do wewnętrznej pamięci transponderów jest możliwy tylko przez RWD z wykorzystaniem interfejsu radiowego [13].

Kolejną grupą o rosnącym znaczeniu na rynku są półpasywne transpondery RFID ze zintegrowanym dodatkowym zasilaniem (np. wymiennym lub niewymiennym akumulatorem litowym) (rys. 2b). Dodatkowa moc baterii jest wykorzystywana do zwiększenia zasięgu odczytu, a tym samym strefy odpytywania [13], ale może być również wykorzy-



Rys. 2. Rodzaje budowy identyfikatorów RFID
Fig. 2. Types of construction of RFID tags

stana do zapewnienia dodatkowych funkcji zaimplementowanych w strukturze transpondera (rys. 2c). Dodatkowe funkcje transpondera mogą przybierać różne formy, takie jak pomiary wielkości fizycznych (temperatury, ciśnienia, wilgotności), przechowywanie zebranych informacji w rozszerzonej pamięci lub wymiana danych przez dodatkowe interfejsy radiowe lub kablowe [14].

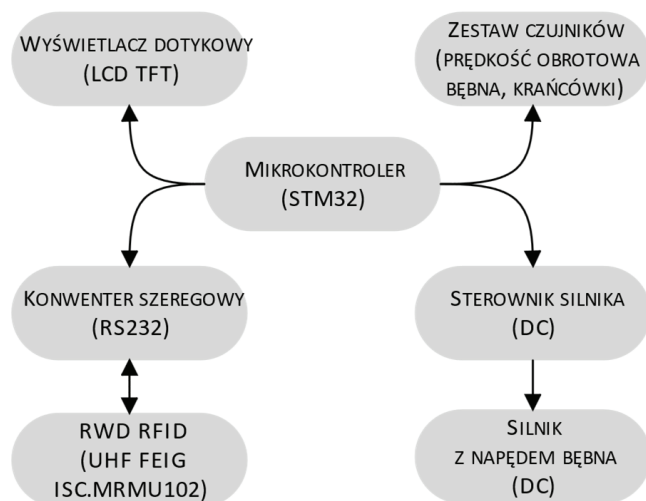
Niezależnie od pasma częstotliwości, podstawowo transponder RFID składa się z chipa elektronicznego i anteny [13]. Najczęściej takie urządzenie budowane jest jako jednolita konstrukcja, w której chip jest wlutowany [15], wklejony [16] lub w inny sposób [17] podłączony do anteny. W tej konstrukcji antena transpondera wykonana jest z materiałów przewodzących na podłożu sztywnym (np. laminat niskożelazowy, ceramiczny) lub elastycznym (np. papier, PET, Kapton). Zgodnie z nowoczesną koncepcją automatycznych systemów identyfikacji RFID, transpondery są mocowane do obiektów na różne sposoby, na stałe lub czasowo [13]. Powoduje to wytwarzanie transponderów o różnych kształtach. Nie ma uniwersalnej konstrukcji transpondera do oznaczania dowolnego obiektu. W każdym przypadku rozwoju systemu RFID należy wybrać transponder z gotowych konstrukcji lub (co jest korzystniejsze) zaprojektować rozwiązanie dedykowane danemu obiektowi z uwzględnieniem wielu pól fizycznych, chemicznych, elektromagnetycznych, elektrycznych i komunikacyjnych warunków jego pracy w docelowym zastosowaniu systemu RFID.

Najnowsze podejście do projektowania transponderów RFID pokazano na rysunku 2d. W tego typu konstrukcjach chip i antena umieszczone są na fizycznie odseparowanych i izolowanych galwanicznie podstawach. Antena może być haftowana lub wszyta nićmi przewodzącymi, jak również innymi technikami, np. przez wciśnięcie drutu przewodzącego stanowiącego antenę w tkaninie. Transponder RFIDtex [3] może być wytwarzany jako wykrój (np. guzik lub etykieta) i zintegrowany z tkaniną przez przyszycie go do oznakowanego elementu tekstylnego. Dzięki tej koncepcji (rys. 2d) można uniknąć problemów związanych z podłączeniem chipa RFID do elastycznego i postrzępionego podłoża tekstylnego, a tym samym można zwiększyć wytrzymałość układu scalonego [18, 19].

4. Koncepcja budowy urządzenia piorącego z RFIDtex

Głównym celem opracowanego laboratoryjnego modelu pralki był demonstracyjny charakter zastosowania transponderów tektonicznych RFIDtex ISO 18000-63 w przyszłych, nowoczesnych urządzeniach AGD oraz możliwość prowadzenia pomiarów wydajności identyfikacji w środowisku symulującym pranie. Głównym zadaniem skonstruowanego urządzenia było odczytanie informacji z pamięci transponderów wszytych w odzież umieszczoną w bębnie maszyny, które zawierały unikalny numer UID oraz informacje dotyczące ograniczeń zdefiniowanych przez producenta, jak temperatura i typ prania, możliwość wirowania czy rodzaj polecanych detergentów. W oparciu o odczyty danych z wielu transponderów zaprojektowano również system wspomagający podejmowanie decyzji o odpowiednim programie prania oraz wyświetlający informacje o wybranym programie. Dodatkowo system został wyposażony w funkcję programowania transponderów za pomocą urządzenia do odczytu/zapisu oraz możliwość szybkiego odczytu pojedynczego transpondera. Funkcje te są używane przez użytkownika do samodzielnego zapisywania dodatkowych informacji w pamięci transponderów wbudowanych w odzież.

Na rysunku 3 przedstawiono uproszczony schemat blokowy zaprojektowanego i wykonanego urządzenia. Centralnym elementem jest mikrokontroler STM32, który odpowiada za odbieranie, przesyłanie i przetwarzanie danych. Mikrokontroler steruje pracą urządzenia RWD, wyświetlacza oraz jednostki napędowej bębna pralki. Do mikrokontrolera bezpośrednio podłączony jest dotykowy wyświetlacz LCD. Dzięki temu można zarządzać całym urządzeniem, a przetwarzane dane prezentować w przyjaznej dla użytkownika formie. Urządzenie odczytująco-zapisujące UHF FEIG jest podłączone do mikrokontrolera za pomocą konwertera RS-232- \rightarrow UART. Aby odczytać dane z transponderów wszytych w ubrania do urządzenia odczytująco-zapisującego podłączono przez multiplexer trzy anteny zewnętrzne. Mikrokontroler steruje pracą układu napędowego zmieniając położenie ubrań względem nieruchomych anten. Urządzenie zostało również wyposażone w zestaw czujników mierzących prędkość obrotową bębna, umożliwiających precyzyjnie zaplano-



Rys. 3. Uproszczony schemat blokowy urządzenia
Fig. 3. Simplified block diagram of the device

wany obrót, oraz czujnik otwarcia drzwiczek zapobiegający nieplanowanemu uruchomieniu urządzenia.

Aby zapewnić wysoką skuteczność identyfikacji w proponowanym systemie konieczna jest optymalizacja procesu skanowania odzieży. Na dokładność odczytu danych z pamięci transpondera ma wpływ wiele czynników, m.in. odległość transpondera od anteny, zakłócenia zewnętrzne oraz liczba transponderów w strefie odpytywania. Przedstawiona na uproszczonym schemacie blokowym koncepcja procesu skanowania (rys. 4) zakłada odczyt danych z pamięci transpondera podczas obrotu bębna, a szczegółowe opracowanie zostanie poświęcone szczegółom algorytmu i modelu komunikacji.

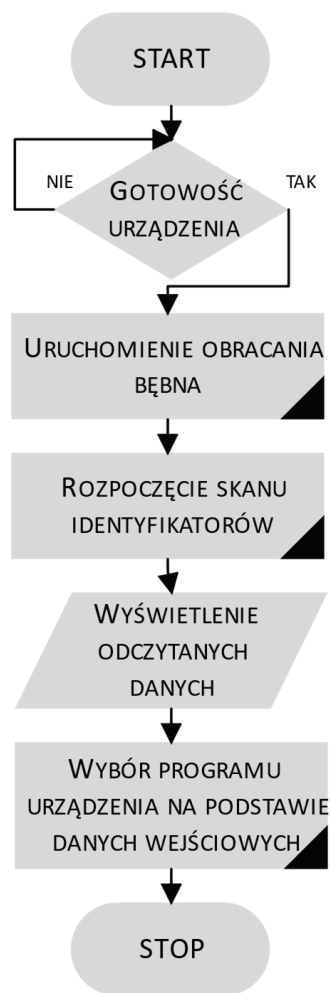
5. Projekt modelu laboratoryjnego

Mikrokontroler STM32 steruje opracowanym laboratoryjnym modelem pralki. Mikrokontroler oparty został na 32-bitowym procesorze ARM serii Cortex-M4, ma 512 kB pamięci FLASH i 128 kB pamięci RAM. Płyta ewaluacyjna w wersji Nucleo-64 ma dodatkowe wyprowadzenia i zintegrowany programator oraz debugger [20].

Poszczególne elementy zostały połączone z mikrokontrolerem zgodnie z szczegółowym schematem blokowym, na którym strzałkami zaznaczono kierunki przesyłania informacji (rys. 5). Sposób komunikacji został odpowiednio dobrany dla każdego komponentu. W celu prawidłowego uporządkowania przestrzennego podzespołów w urządzeniu zaprojektowano dwie płyty PCB (rys. 6), pozwalające na odpowiednią organizację okablowania w obudowie modelu pralki.

Płyty przyłączeniowe zostały również zaprojektowane w taki sposób, aby wiele elementów można było łatwo zamontować do obudowy urządzenia. Płyta oznaczona jako PCB1 jest w formie nakładki na płytę ewaluacyjną mikrokontrolera oraz jest elementem łączącym płytę z mikrokontrolerem i PCB2. Zaprojektowane płyty połączone zostały ze sobą złączem Molex Mini-Fit (raster 4,2 mm). Na płycie PCB2 zainstalowano przetwornice DC. Do płyty PCB2 za pomocą dodatkowych złączy podłączone zostały zewnętrzne czujniki, sterownik silnika i urządzeniem odczytu/zapisu FEIG RFID (przez konwerter RS-232) (rys. 7).

W obudowie pralki zintegrowany został ekran z panelem dotykowym. Wyświetlacz służy do sterowania urządzeniem, a także przedstawia informacje, które są istotne dla użyt-

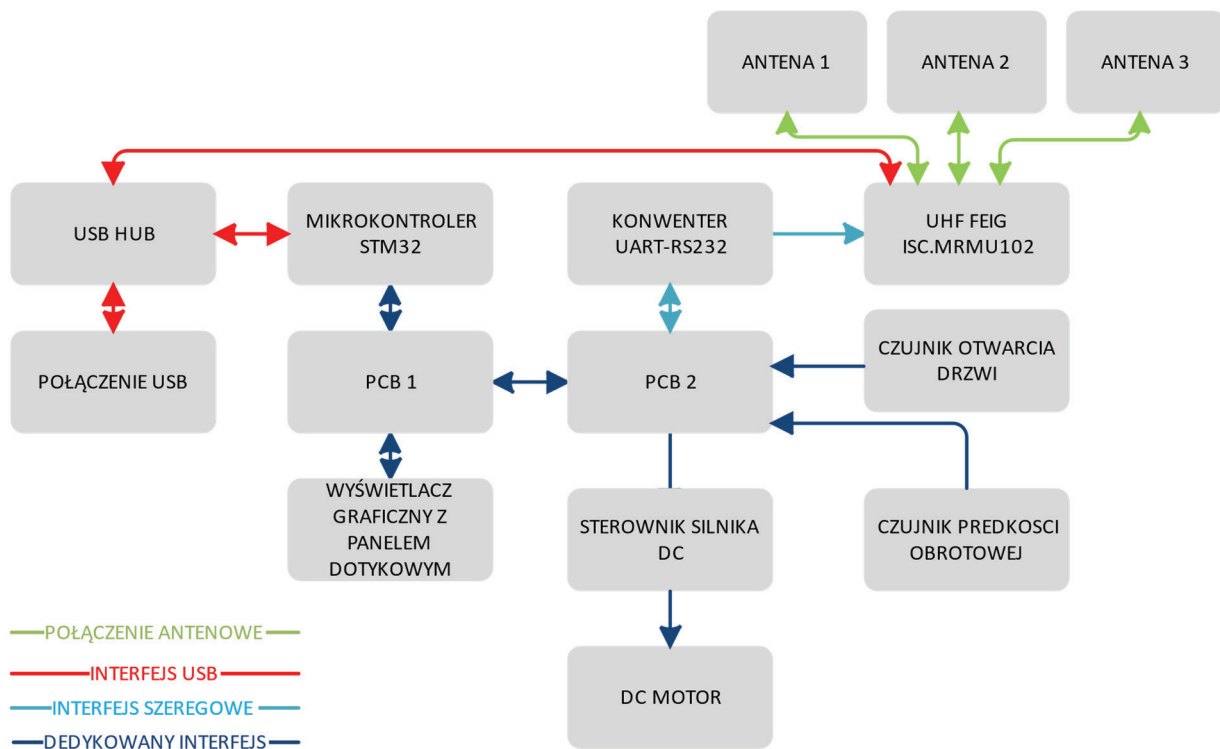


Rys. 4. Algorytm procesu skanowania w urządzeniu piorącym
Fig. 4. Algorithm of the scanning process in the washing machine

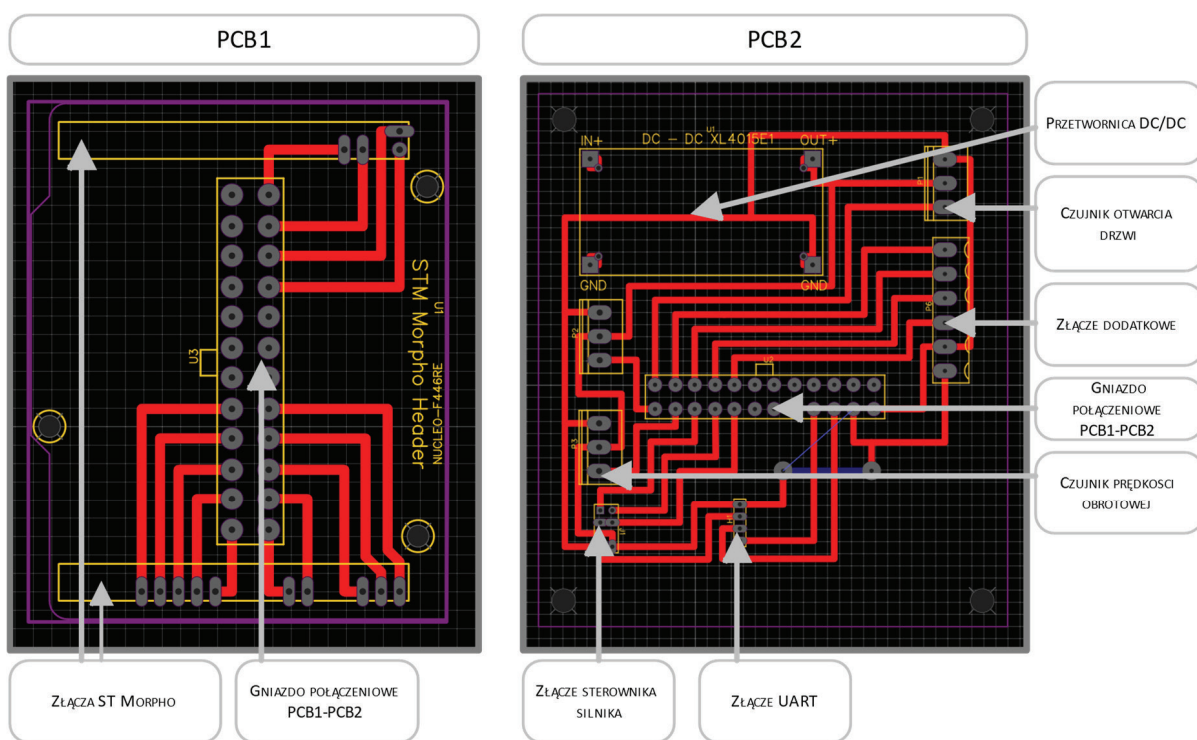
kownika. Dodatkowo umożliwia podgląd wykrytych transponderów oraz raportów o błędach jakie wystąpiły podczas skanowania zawartości bębna.

Do sterowania pracą silnika wykorzystany został zewnętrzny układ mostka H, który na podstawie otrzymanego sygnału PWM na wejściu umożliwia zmianę kierunku oraz prędkości obrotowej bębna. W celu zwiększenia precyzji sterowania wykorzystano układ sprzężenia zwrotnego z czujnika magnetycznego. Poszczególne elementy elektroniczne zasilane były z wbudowanego zasilacza prądu stałego o napięciu 12 V.

Jako urządzenie odpowiedzialne za odczyt i zapis pamięci transponderów zastosowano FEIG ID ISC.MRU102 RWD [68]. Jest to urządzenie pracujące w paśmie UHF. Praca w tym zakresie częstotliwości daje możliwość odczytu w średnich i krótkich zakresach, współpracując jednocześnie z wieloma transponderami znajdującymi się w strefie odpytywania urządzenia RWD. System ten został wyposażony przez producenta w porty komunikacyjne takie jak RS-232 i USB. Dostępna jest wbudowana antena na płycie RWD. System został przystosowany do pracy zarówno z transponderami krótkiego, jak i dalekiego zasięgu. Urządzenie RWD zostało również wyposażone w trzy złącza, umożliwiające podłączenie trzech dodatkowych anten zewnętrznych. Za pracę tych anten odpowiada multiplexer zintegrowany z RWD. Aby opracowane urządzenie działało poprawnie i efektywnie, zapewniając odpowiednią skuteczność identyfikacji, zostało opracowane dedykowane oprogramowanie.



Rys. 5. Schemat blokowy opracowanego prototypu urządzenia piorącego
 Fig. 5. A block diagram of the development of a washing device prototype



Rys. 6. Płyty PCB wykorzystane w prototypie urządzenia piorącego
 Fig. 6. PCBs used in the washing machine prototype

6. Sterowanie

Obsługa wielu różnorodnych komponentów oraz zintegrowanie z usługami chmurowymi wymagało podzielenia oprogramowania na części. Specyfikacja problemu sterowania urządzenia piorącego, którego elementy elektroniczne mogą ulec zmianie

w przyszłości wpasowuje się w koncepcje maszyny wirtualnej [21]. Możliwość przenaszalności oprogramowania w tego rodzaju systemach wbudowanych otwiera nowe możliwości personalizacji, generując wymierne ekonomiczne skutki.

Oprogramowanie podzielone zostało wg schematu przedstawionego na rysunku 5. Koncepcja wzoruje się na niezwodnych systemach sterowania stosowanych przez sterowniki PLC. Nisko-

poziomowa obsługa elementów takich jak urządzenie RWD, wyświetlacz z panelem dotykowym implementowane obsługiwane są poza systemem sterowania. Właściwe sterowanie urządzeniem, czyli programy prania, obsługa czujników czy interakcja z użytkownikiem opracowana została z wykorzystaniem języków normy ISO 61131-3 na platformie CPDev [22]. Wymiana danych między niskopoziomową obsługą peryferii a programem sterownia maszyną piorącą odbywa się za pomocą wspólnej pamięci i specjalnych bloków natywnych. Implementacja sterowania cyklem prania wpisuje się w koncepcje grafów sekwencji języka SFC.

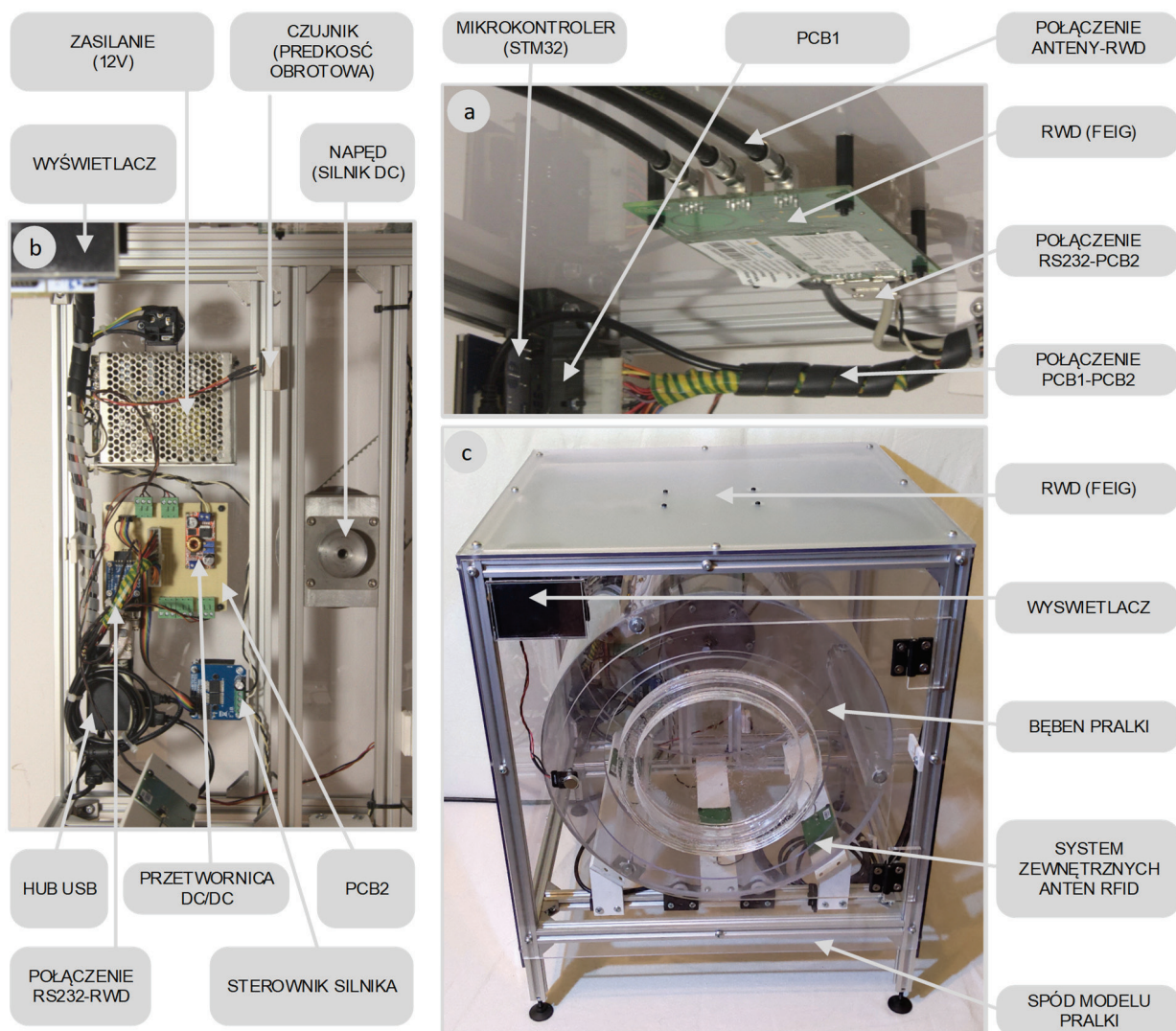
Zaletą zastosowania wymienionego podziału bloków oprogramowania jest łatwość aktualizacji bez wpływu na zastosowane peryferia. Jednakowy program prania może zostać zaimplementowany w wielu różnorodnych urządzeniach. Praktyczna realizacja urządzenia piorącego wymaga wzięcia pod uwagę współczesnych wymogów, jak funkcji dodania ubrania w czasie prania. Realizacja takich zmian w programach w języku SFC jest uproszczona. Najważniejszą zaletą jest jednak możliwość przygotowania niezależnych programów prania dla specjalistycznych detergentów czy zestawów ubrań. Zasada działania pralek bębnowych dostępnych aktualnie nie różni się między producentami, zauważalne są wyłącznie ograniczenia maksymalnej masy umieszczonej w bębnie lub prędkości obrotowej bębna.

Urządzenie może zostać z łatwością przystosowane do aktualnych warunków w danym regionie.

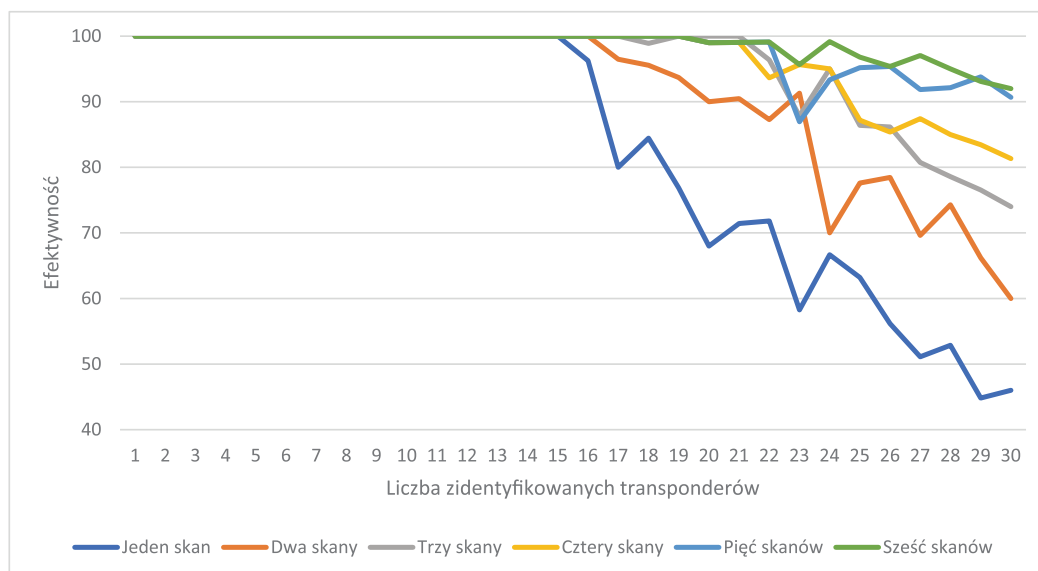
7. Wyniki

Podstawowym badanym aspektem była efektywność systemu identyfikacji umieszczonych transponderów wewnątrz bębna, która miała na celu zobrazowanie precyzji działania opracowanego modelu urządzenia oraz poprawności projektu pod kątem prawidłowego wdrożenia systemu RFID w modelu laboratoryjnym pralki. Podczas testów przyjęto kilka założeń. Do badań wykorzystano tkaniny bawełniane z naszytymi transponderami RFIDtex. Bęben wypełniony był wyłącznie tkaninami wyposażonymi w transpondery. Identyfikacji grup transponderów dokonano podczas ruchu bębna, symulując w ten sposób warunki panujące w bębnie pralki. W opracowanym modelu w bębnie nie było wody. Podczas procesu skanowania bębna był obracany, aby każdy ze zintegrowanych z tkaniną identyfikatorów znajdował się jak najbliżej układu antenowego RWD przez określony czas.

W celu stworzenia bezszumowego środowiska i uniknięcia wpływu zakłóceń elektromagnetycznych na badane urządzenie



Rys. 7. Prototyp urządzenia piorącego
Fig. 7. Washing device prototype



Rys. 8. Wyniki efektywność odczytu transponderów RFIDtex w modelu pralki

Fig. 8. The results of the efficiency of reading RFIDtex transponders in a washing machine model

badania przeprowadzono w komorze bezchowej. Zastosowanie technologii RFID wymagało odpowiednich rozwiązań technicznych i materiałów, aby zaproponować demonstracyjne środowisko pracy systemu RFID wolne od wpływu metali na proces odczytu numeru seryjnego transponderów RFIDtex, a także uzyskania odpowiedniej strefy odpytywania. Testy urządzeń polegały na wykonaniu skanu polegającego na odczytaniu numerów seryjnych transponderów. Dane były następnie przetwarzane przez mikrokontroler i przechowywane w pamięci systemu.

W ramach testów przeprowadzono proces identyfikacji w zakresie od jednego do trzydziestu transponderów. Przy każdej próbie odczytu, w bębnie opracowanego urządzenia umieszczano z góry określoną liczbę transponderów (od 1 do 30) i podejmowano pięć prób odczytu grupy. Pojedyncza sekwencja odczytu trwała 2 s, z czego połowa czasu była przeznaczona na analizę i zapis uzyskanych wyników. Na podstawie liczby poprawnie odczytanych transponderów w każdej próbie, określono średnią liczbę identyfikacji w pięciu próbach oraz procentową skuteczność identyfikacji grupy transponderów.

Zastosowane w modelu urządzenie RWD firmy FEIG zostało wyposażone w funkcję wielokrotnego odczytu grupy transponderów. Cechę tą wykorzystano w celu zwiększenia wydajności modelu. Opracowane rozwojowe oprogramowanie zapisywało w pamięci systemu mikroprocesorowego wynik ustawionej sekwencji odczytów grupy transponderów, a następnie dynamicznie budowało listę odczytanych transponderów. Dzięki zaimplementowaniu tej funkcjonalności udało się zwiększyć efektywność odczytu grupy transponderów, co udowodniono powtarzając proces identyfikacji w zakresie od dwóch do sześciu odczytów grupy transponderów. Próby te powtórzono również pięć razy. Czas trwania skanów dostosowywany był dynamicznie dzięki możliwościom protokołu ISO18000-63.

Uzyskane wyniki pomiarów (rys. 12) świadczą o poprawności działania zaprojektowanego i wykonanego demonstratora laboratoryjnego. Nawet przy pojedynczym skanie, który obejmował identyfikację grupy obiektów wyposażonych w transpondery, system wykazał wysoką skuteczność odczytu (rzędu 100 %) do 15 obiektów w bębnie. Zwiększenie liczby skanów spowodowało osiągnięcie 100 % skuteczności identyfikacji, nawet jeśli w bębnie znajdowało się do 22 obiektów. Zmie-

rzona skuteczność identyfikacji grup spadła najszybciej przy użyciu tylko jednego skanu, a dla 30 obiektów w bębnie wyniosła tylko 46 %. W przypadku grupy skanowanej sześciokrotnie sprawność nawet przy 30 obiektach w bębnie utrzymała się na poziomie 90 %. To pokazało, że możliwe jest efektywne wykorzystanie systemów RFID i transponderów RFIDtex w technologii pralniczej.

8. Podsumowanie

Przedmiotem pracy było zautomatyzowanie działania urządzeń piorących za pomocą identyfikacji bezprzewodowej z wykorzystaniem identyfikatorów RFIDtex. Zaprojektowany i zbudowany został model laboratoryjny pralki wspierającej proponowany system, umożliwiający badanie pracy takich urządzeń. Podczas realizacji modelu przyjęto założenie, że identyfikacja będzie odbywać się gdy bęben nie jest wypełniony wodą. Wynikało to z założenia o dostosowaniu programu prania do zestawu odzieży z możliwością usunięcia elementów powodujących znaczne konflikty z wybranymi parametrami.

Opracowany i zbudowany model został poddany serii testów, które wykazały sprawną identyfikację transponderów wewnątrz bębna. W ramach prac opracowano również oprogramowanie do zarządzania urządzeniami wraz z odpowiednim modelem komunikacji.

Opracowane urządzenie demonstruje innowacyjne podejście do procesu prania tekstyliów sterowane informacjami odczytanymi z transponderów RFIDtex wszytych w tkaniny. Może służyć jako podstawa do budowy w pełni funkcjonalnego prototypu pralki automatycznej, która wykorzystuje informacje zapisane w pamięci transponderów RFID do dostosowywania procesu prania.

Należy podkreślić, że wykorzystanie informacji o parametrach tkanin może pozwolić na zupełnie nowe podejście do sterowania procesem prania. Otwiera również zupełnie nowe pola badawcze, wśród których są aspekty związane ze sterowaniem procesem prania, w tym doбором najlepszego programu prania dla wielu tkanin jednocześnie, sterowaniem procesami automatycznego dozowania detergentu, prędkością obrotów bębna czy zmianami temperatury wody podczas procesu pra-

nia oraz wpływ całego procesu sterowania na zużycie wody, energii elektrycznej i detergentów.

Podziękowania

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą „Reginalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019–2023 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł.

Bibliografia

- Maxwell L.M., *Save Womens Lives: History of Washing Machines*, 1st ed.; Oldewash: Eaton, CO, USA, 2003; ISBN 978-0972971003.
- Ho T., Chen M.-S., Lin J.-S., Chen P.-H., *The design and implementation of the BLDC motor drive for a washing machine*. [In:] Proceedings of the 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronics, Tokyo, Japan, 2012, 156–157, DOI: 10.1109/GCCE.2012.6379565.
- Liu T., Lin C., Lo C., *Implementation of a novel high-per-*Jankowski-Mihulowicz P., Węglarski M., Chamera M., Pyt P., *Textronic UHF RFID Transponder*. „Sensors”, Vol. 21, No. 4, 2021, DOI: 10.3390/s21041093.
- NXP Demonstrates NFC Washing Machine*. <https://www.nfcw.com/2012/03/05/314143/nxp-demonstrates-nfc-washing-machine>.
- Shen B., Ding X., Wang Y., Ren S., *RFID-Embedded Smart Washing Machine Systems in the Big Data Era: Value Creation in Fashion Supply Chain*. [In:] Fashion Supply Chain Management in Asia: Concepts, Models, and Cases; Shen B., Gu Q., Yang Y., Eds.; Springer Series in Fashion Business; Springer: Singapore, 2019. DOI: 10.1007/978-981-13-2294-5_7.
- Ukkonen L., Sydanheimo L., Kivikoski M., *Read Range Performance Comparison of Compact Reader Antennas for a Handheld UHF RFID Reader*. “IEEE Communications Magazine”, Vol. 45, No. 4, 2007, 24–31, DOI: 10.1109/MCOM.2007.348674.
- Gotfryd M., Lichoń W., Pawłowicz B., *The issue of data exchange in the UHF band RFID system with an Semi-Passive Transponder*. “International Journal of Electronics and Telecommunications”, Vol. 62, No. 2, 2016, 141–146. DOI: 10.1515/eletel-2016-0019.
- Węglarski M., Jankowski-Mihulowicz P., *Factors Affecting the Synthesis of Autonomous Sensors with RFID Interface*. “Sensors”, Vol. 19, No. 20, 2019, DOI: 10.3390/s19204392.
- Honeywell International Inc. Intermecc RFID Tags & Media, Meeting the Scalable RFID Challenge; Honeywell International Inc.: Charlotte, NC, USA, 2013.
- International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission. Identification Cards—Contactless Integrated Circuit Cards—Vicinity Cards; ISO/IEC: Geneva, Switzerland, 2006.
- International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission. Identification Cards—Contactless Integrated Circuit Cards—Proximity Cards; ISO/IEC: Geneva, Switzerland, 2016.
- International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission. Information Technology—Radio Frequency Identification for Item Management—Part 6: Parameters for Air Interface Communications at 860 MHz to 960 MHz General; ISO/IEC: Geneva, Switzerland, 2013.
- Dobkin D.M., *The RF in RFID: UHF RFID in Practice*, 2nd ed.; Newnes: Oxford, UK, 2012.
- Węglarski M., Jankowski-Mihulowicz P., Pitera G., Jurków D., Dorczyński M., *LTCC Flow Sensor with RFID Interface*. „Sensors”, Vol. 20, No. 1, 2020, DOI: 10.3390/s20010268.
- Oppert T., Azdasht G., Zakel E., Teutsch T., *Laser assisted soldering and Flip-Chip attach for 3-D packaging*. [In:] Proceedings of the 31st IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium, Petaling Jaya, Malaysia, 2006, DOI: 10.1109/IEMT.2006.4456437.
- Simegnaw A.A., Malengier B., Rotich G., Tadesse M.G., Van Langenhove L., *Review on the Integration of Microelectronics for E-Textile*. “Materials”, Vol. 14, No. 17, 2021, DOI: 10.3390/ma14175113.
- Wang Y., Gauch M., Ristau D., Overmeyer L., *Fine-pitch chip-on-flex packaging of optoelectronic devices using low temperature optodic bonding*. [In:] Proceedings of the Pan Pacific Microelectronics Symposium, Big Island, HI, USA, 2016, DOI: 10.1109/PanPacific.2016.7428418.
- Corchia L., Monti G., Tarricone L., *Wearable antennas: Non-textile versus fully textile solutions*. “IEEE Antennas and Propagation Magazine”, Vol. 61, No. 2, 2019, 71–83, DOI: 10.1109/MAP.2019.2895665.
- Luo C., Gil I., Fernández-García R., *Wearable Textile UHF-RFID Sensors: A Systematic Review*. “Materials”, Vol. 13, No. 15, 2020, DOI: 10.3390/ma13153292.
- UM1724 User Manual STM32 Nucleo-64 Boards (MB1136). www.st.com/resource/en/user_manual/um1724-stm32-nucleo64-boards-mb1136-stmicroelectronics.pdf.
- Sadolewski J., Trybus B., *Compiler and virtual machine of a multiplatform control environment*. “Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences”, Vol. 70, No. 2, 2022, DOI: 10.24425/bpasts.2022.140554.
- Rzońca D., Sadolewski J., Stec A., Świder Z., Trybus B., Trybus L., *Developing a multiplatform control environment*, “Journal of Automation Mobile Robotics and Intelligent Systems”, Vol. 13, No. 4, 2019, 73–84, DOI: 10.14313/JAMRIS/4-2019/40.

Model of Washing Device Using Textronic RFID Transponders

Abstract: Textronic RFID transponders extend the possibilities of home appliance design. New application can be found in the laundry technology, where by means of RFID transponders sewn into the garment it is possible to encode information and use it later to select the best washing program for a given type of fabric or to keep statistics of material usage. As part of this work, a demonstration model of a washing device using RFIDtex transponders (identifiers) was designed and built. A control system was prepared for the constructed model of a washing machine equipped with a RWD (Read-Write Device) device, supporting decision-making about the selection of a given function on the basis of data provided by RFIDtex identifiers integrated with the clothing. The effectiveness of the device was also checked using prepared samples.

Keywords: RFID, textronics, household appliances, Internet of Things, CPDev

mgr inż. Marcin Hubacz

m.hubacz@prz.edu.pl

ORCID: 0000-0002-2748-1145

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. Sebastian Kołcz

sebastian.k@agendo.pl

ORCID: 0000-0003-4280-6611

Absolwent Politechniki Rzeszowskiej na kierunku Elektronika i Telekomunikacja. W 2021 r. zdobył tytuł magistra z pracą na temat "Zastosowania tektroniki do wspomagania pracy nowoczesnych urządzeń AGD". Aktualnie pracuje w firmie Agendo z siedzibą w Rzeszowie, gdzie zajmuje stanowisko dyrektora IT. Prywatnie lubi jazdę na rowerze, chodzenie po górach, majsterkowanie oraz programowanie, które jest jego pracą i jednocześnie pasją.



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.

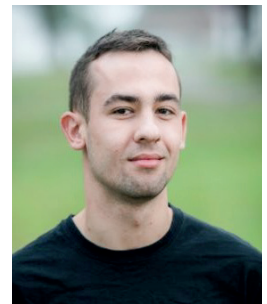


mgr inż. Mateusz Salach

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 Rzezy, 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.

