

Adam Surówka

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nowym Sączu,

Instytut Techniczny

e-mail: asurowka6@gmail.com

Projekt koncepcyjny układu sterującego urządzeniami elektrycznymi z wykorzystaniem komend głosowych

STRESZCZENIE

Obecnie na rynku istnieje wiele aplikacji mobilnych, pracujących w zintegrowanych systemach sterowania automatyki budynkowej. Autor, chcąc przejść o krok dalej, postanowił rozszerzyć standardowy sposób kontroli urządzeń elektrycznych o możliwość dwukierunkowej komunikacji werbalnej. Dzięki temu, oprócz standardowej procedury sterowania przyciskami funkcyjnymi, proces ten może być realizowany z wykorzystaniem komend głosowych wydawanych przez operatora. Aplikacja, dedykowana na platformę systemową Android, została zaprojektowana w taki sposób, aby operatorem mógł być każdy człowiek, niezależnie od wieku, płci czy barwy głosu. Dodatkowo, po dokonaniu stosownej konfiguracji urządzenia mobilnego, istnieje możliwość wydawania komend głosowych w bardzo szerokiej gamie języków obcych. Ponadto interfejs użytkownika pozwala na usłyszenie odpowiedzi zwrotnej, dotyczącej poprawności wykonania danej komendy. Ta funkcja została zrealizowana z zastosowaniem wbudowanego syntezatora mowy.

Słowa kluczowe: aplikacja mobilna, Android, rozpoznawanie mowy, system sterowania, urządzenia mobilne, smartfon, smartwatch, tablet, automatyka budynkowa.

Wprowadzenie

W dzisiejszych czasach instalacje systemów automatyki i sterowania komendami głosowymi znajdują coraz większą liczbę zwolenników. Rozwiązania te uwalniają użytkownika od konieczności posługiwania się standardowymi metodami komunikacji z urządzeniem, np. za pomocą panelu dotykowego, przycisków fizycznych, myszki czy klawiatury¹. Głównym zadaniem systemu automatycznego rozpoznawania mowy ASR (*Automatic Speech Recognition*) jest przetworzenie sygnału dźwiękowego na użyteczną informację tekstową.

¹ A. Yuschenko, D. Morozov, A. Zhonin, *Speech control for mobile robotic systems*, „Acta mechanica et automatic” 2008, nr 3.

którą następnie można analizować². Realizacja tej koncepcji stawia przed programistą bardzo trudne zadanie. Jest to uwarunkowane przede wszystkim wysoką złożonością cech ludzkiej mowy, rozpatrywanej jako analogowy sygnał wejściowy. Równie ważnym czynnikiem jest duża nieliniowość charakterystyk propagacji dźwięku w warunkach rzeczywistych. Wiodące firmy informatyczne, takie jak Google i Microsoft, od lat prowadzą badania pozwalające na rozwój tej technologii. Dzięki udostępnionym przez te firmy API (*Application Programming Interfaces*) możliwa jest implementacja zaawansowanych algorytmów analizujących mowę w różnych zastosowaniach projektowych³.

Analizując obecną sytuację na rynku polskim, autor wyodrębnił trzy rodzaje systemów sterowania mową dostępne w sprzedaży:

1. Pierwszą grupę stanowią uniwersalne systemy automatyki budynkowej z dedykowaną funkcjonalnością sterowania komendami głosowymi. Aktualnie na polskim rynku istnieją tylko dwie firmy: Fibar Group oraz Asea Brown Boveri Ltd., które oferują tego typu rozwiązania i udzielają pełnego wsparcia technicznego przy montażu i eksploatacji. Fibar Group dostarcza system Fibaro, który jest tworzony, produkowany i rozwijany w Polsce. Oferuje nabywcom funkcję wirtualnej asystentki Lili, pozwalającej na inteligentną kontrolę urządzeń elektrycznych w domu⁴. Asea Brown Boveri Ltd. jest międzynarodowym koncernem działającym w Polsce już od ponad dwudziestu pięciu lat. W szerokiej ofercie firmy znajduje się między innymi system ABB-free@home. Skoncentrowany jest na zapewnieniu możliwości pełnej kontroli automatyki budynku mieszkalnego⁵. Oba rozwiązania pracują w oparciu o podobną zasadę działania. Komendy głosowe odbierane i analizowane są pośrednio przez urządzenie mobilne wyposażone w odpowiednią aplikację. Następnie instrukcja trafia do centrali sterującej przez sieć Wi-Fi (*Wireless Fidelity*), skąd rozsyłana zostaje do odpowiednich urządzeń wykonawczych. W niedalekiej przyszłości alternatywą może okazać się produkt firmy Ceuron, którym jest system sterowania eDom. Obecnie producent umożliwi korzystanie z funkcji rozpoznawania mowy jedynie w wersji testowej⁶.

2. Kolejną grupę tworzą takie systemy automatyki jak np. Blebox⁷. Producenci tych rozwiązań w podstawowej wersji nie oferują funkcji rozpoznawania głosu. Aby rozbudować system o tę funkcję, należy zainstalować na urządzeniu mobilnym dodatkową aplikację, np. Automate. Pozwala ona na tworzenie algorytmów działania układu w postaci schematów blokowych. Do realizacji kontroli głosowej wykorzystuje oferowany przez firmę Google mechanizm Ok Google, inicjujący zdarzenie rozpoznawania mowy na platformach mobilnych Android⁸. Konieczność instalacji i konfiguracji dodatkowego oprogramowania, które nie jest wspierane przez producentów, sprawia, że tego typu rozwiązania nie znajdują zbyt wielu zwolenników.

3. Trzecia kategoria to systemy sterowania, które w odróżnieniu od poprzednich rozwiązań nie są nacechowane uniwersalnością, lecz konkretną specyfiką zastosowania. Przykładem może

² M. Mięśikowska, E. Rüter de, *Automatic recognition of voice commands in a car cabin*, „Pomiary. Automatyka. Kontrola” 2014, nr 8.

³ M. Mąka, M. Dramski, *Rozpoznawanie mowy w systemie zarządzania zdarzeniami radiokomunikacyjnymi*, „Autobusy: Technika. Eksploatacja. Systemy Transportowe” 2016, nr 12.

⁴ *Sterowanie głosem Fibaro*, <https://fibaro.com/pl/why-fibaro/>, dostęp: 17.12.2017 r.

⁵ *Głosowe sterowanie domem free@home*, <https://new.abb.com/buildings/pl/livingspace/glosowe-sterowanie-domem>, dostęp dnia 17.12.2018 r.

⁶ *Ceuron eDom*, www.ceuron.pl/program.php?program=eDom, dostęp: 17.12.2017 r.

⁷ *Inteligentny dom Blebox*, <https://blebox.eu/pl/>, dostęp: 17.12.2017 r.

⁸ *Sterowanie głosem z Blebox*, <https://wroled.pl/pl/n/Sterowanie-glosem-z-Blebox/46>, dostęp: 17.12.2017 r.

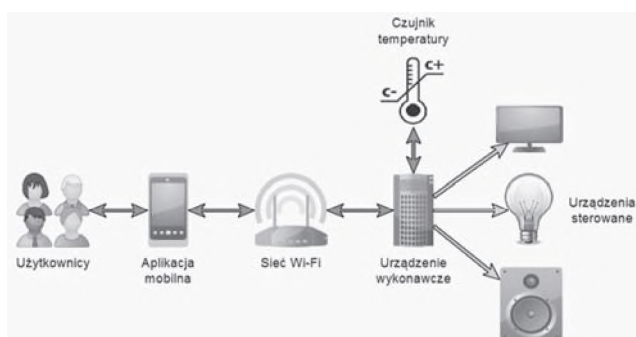
być firma Oknoplast oferująca system Voice Oknoplast. Użytkownik ma do dyspozycji ograniczone spektrum możliwych poleceń głosowych. Komendy typu „Otwórz/Zamknij” przewidziane zostały jedynie dla produktów tej firmy, a więc okien, rolet oraz drzwi wejściowych i tarasowych⁹.

Analiza obecnej sytuacji na polskim rynku wskazuje, że funkcjonalność inteligentnego sterowania mową wprowadziły jedynie nieliczne przedsiębiorstwa zajmujące się produkcją i dystrybucją systemów automatyki budynkowej. Fakt ten może być podstawą do stwierdzenia, iż są to rozwiązania nowatorskie i innowacyjne. Mała konkurencja wpływa niekorzystnie na ceny tych produktów, wskutek czego nie każdy może sobie pozwolić na taką inwestycję. Wobec tego autor postanowił zaproponować swoją koncepcję systemu sterowania głosem, który przede wszystkim będzie oferować:

- inteligentne rozpoznawanie komend głosowych niezależne od kontekstu wypowiedzi oraz cech fizjologicznych użytkownika,
- aplikację mobilną przeznaczoną do realizacji sterowania głosem bez konieczności instalowania dodatkowego oprogramowania,
- szeroką uniwersalność zastosowania,
- niskie koszty produkcji oraz eksploatacji całego systemu.

Zakres założeń projektowych

Celem pracy jest zaprojektowanie, zbudowanie, zaprogramowanie, uruchomienie i przetestowanie systemu sterowania z wykorzystaniem komunikacji głosowej. Będzie on reagował na komendy głosowe wydawane przez operatora. Umożliwi to sterowanie typu włącz/wyłącz wybranymi urządzeniami elektrycznymi RTV i AGD. Ponadto dzięki interakcji interfejsu operator będzie mógł otrzymać wiadomość dotyczącą wartości aktualnej temperatury panującej w miejscu, w którym zamontowany zostanie cyfrowy czujnik temperatury. System będzie składał się z dwóch elementów. Pierwszy to elektroniczny układ wykonawczy, do którego podłączone zostaną sterowane urządzenia elektryczne. Drugi to aplikacja mobilna, stanowiąca multimedialny interfejs użytkownika. Medium łączącym oba elementy będzie sieć bezprzewodowa Wi-Fi. Ogólny schemat blokowy systemu przedstawia rysunek 1.



Rys. 1 Ogólny schemat blokowy systemu

Źródło: opracowanie własne.

⁹ Oknoplast wprowadza inteligentne okna, drzwi i rolety sterowane głosem, <https://oknoplast.com.pl/oknoplast-wprowadza-inteligentne-okna-drzwi-rolety-sterowane-glosowo/>, dostęp: 17.12.2017 r.

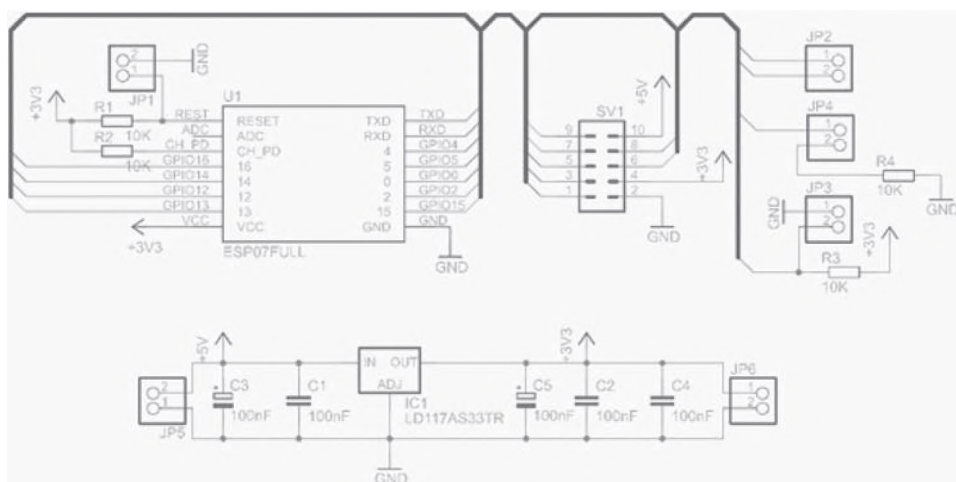
Założenia dotyczące projektowanego systemu sterowania przedstawiają się następująco:

- dla układu wykonawczego:
 - realizacja sterowania (włącz/wyłącz) za pomocą przekaźników elektromagnetycznych dla co najmniej pięciu urządzeń elektrycznych,
 - sterowane urządzenia elektryczne będą zasilane napięciem 230V,
 - zbudowany układ zostanie wyposażony w co najmniej jeden elektroniczny czujnik temperatury model DS18B20,
 - do współpracy z aplikacją mobilną konieczna będzie pełna komunikacja z wybraną siecią Wi-Fi udostępnianą z routera/modemu,
 - zasilanie układu zostanie dostarczone z sieci elektroenergetycznej prądu przemiennego o częstotliwości 50Hz i napięciu fazowym 230V,
- dla aplikacji mobilnej:
 - aplikacja przeznaczona dla dowolnych urządzeń mobilnych działających na platformie systemowej Android w wersji 4.2 lub nowszej,
 - do współpracy z urządzeniem wykonawczym konieczna będzie pełna komunikacja z wybraną siecią Wi-Fi udostępnianą z routera/modemu,
 - do prawidłowego działania aplikacji będzie wymagany pełny dostęp do zasobów sprzętowych i programowych docelowego urządzenia mobilnego,
 - prawidłowe rozpoznawanie komend głosowych będzie możliwe niezależnie od barwy głosu, płci lub wieku operatora,
 - przyjęcie komend wydanych przez operatora zostanie każdorazowo potwierdzone przez urządzenie mobilne również komendami głosowymi, generowanymi przy użyciu systemowego syntezatora mowy,
 - przekazywanie komend do układu wykonawczego przez każde z urządzeń mobilnych będzie mogło być realizowane niezależnie od siebie.

Układ wykonawczy

Elektroniczny układ wykonawczy będzie składał się z dwóch płytek PCB (*Printed Circuit Board*). Pierwsza, to część komunikacyjno-sterującą, natomiast druga, to karta przekaźnikowa.

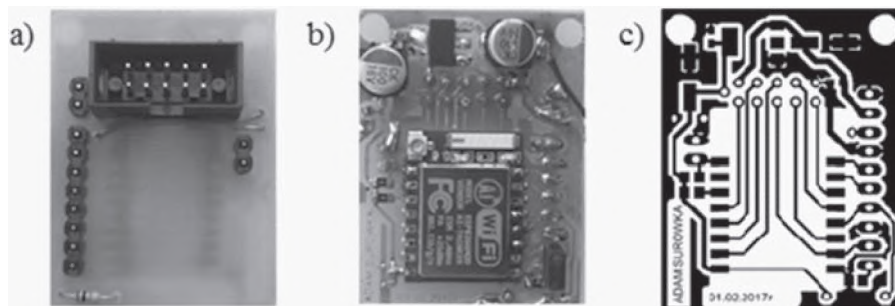
Część komunikacyjno-sterująca to obwód drukowany z zaimplementowanym programowalnym modulem Wi-Fi ESP8266, który jest tu najważniejszym elementem, ponieważ realizuje zadania dwukierunkowej komunikacji bezprzewodowej Wi-Fi, dokonuje wystęrowania przekaźników oraz odczytów wartości temperatury z czujnika elektronicznego. Do pomiaru wartości temperatury postanowiono użyć elektronicznego czujnika DS18B20, komunikującego się z modulem ESP8266 za pomocą magistrali danych 1-Wire. Sekcja stabilizacji i filtracji zasilania dla napięć 5V i 3,3V, oparta na układzie LD1117, dostarcza właściwe napięcia zasilania odpowiednio dla przekaźników i modułu Wi-Fi wraz z elektronicznym czujnikiem temperatury. Na płytce znajdują się także wyprowadzenia pinów umożliwiające zaprogramowanie modułu Wi-Fi. Zastosowanie technologii SMD (*Surface Mounted Devices*) w postaci lutowanych powierzchniowo rezystorów, kondensatorów oraz układu stabilizatora LD1117 pozwoliło na uzyskanie stosunkowo niewielkich rozmiarów płytki PCB. Schemat elektroniczny części komunikacyjno-sterującej przedstawia rysunek 2.



Rys. 2 Schemat elektroniczny części komunikacyjno-sterującej

Źródło: opracowanie własne.

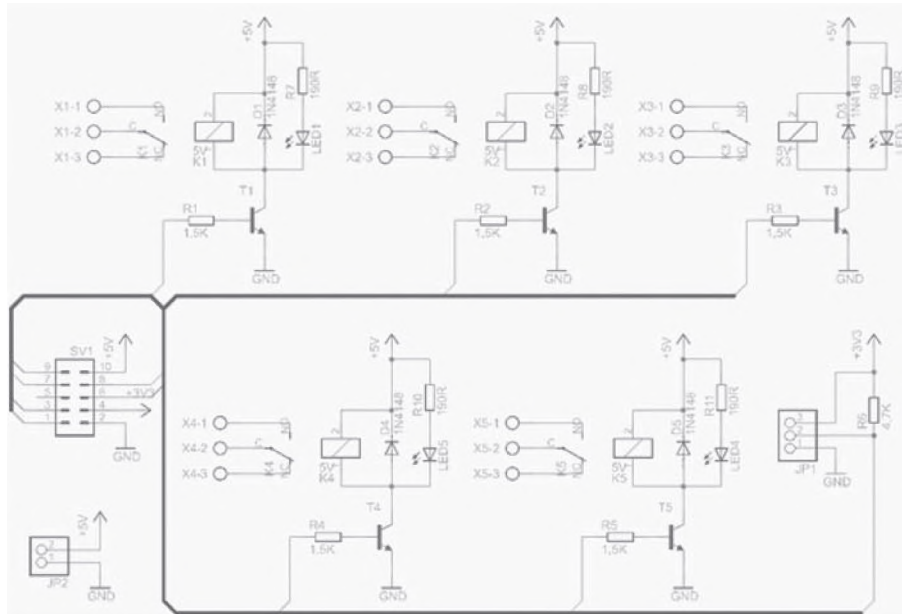
Na rysunku 3 została przedstawiona zmontowana płytki PCB części komunikacyjno-sterującej oraz mozaika ścieżek zaprojektowana według schematu z rysunku 2.



Rys. 3 Część komunikacyjno-sterująca: a) widok od góry, b) widok od strony elementów, c) zaprojektowana mozaika ścieżek

Źródło: opracowanie własne.

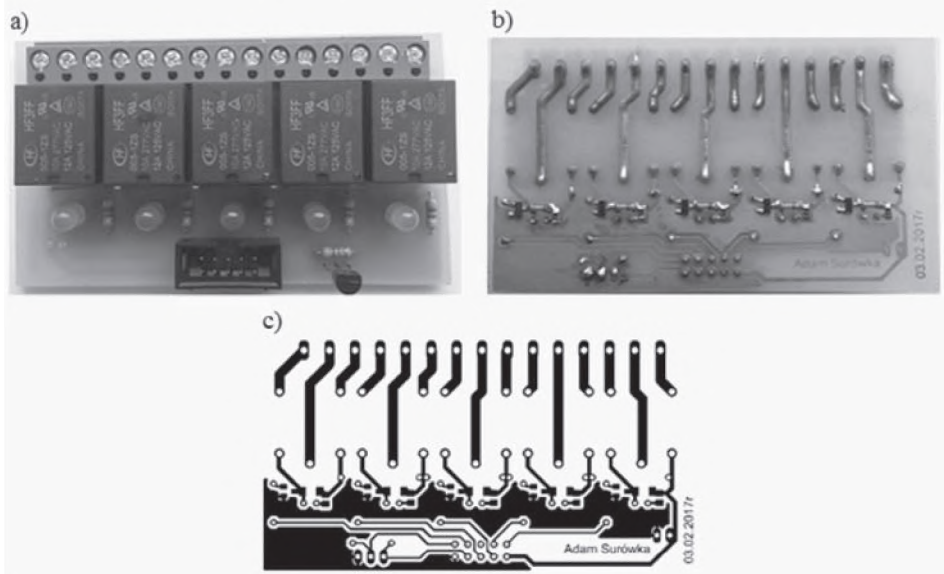
Druga część układu to karta przekaźnikowa. Będzie ona połączona z częścią komunikacyjno-sterującą za pomocą dziesięcioprzewodowej taśmy, zakończonej z obu stron dziesięciopinowymi wtykami typu IDC. Zgodnie z założeniami projektowymi zamontowane zostaną przekaźniki o stykach zwierno-rozwiernych, pracujących z napięciem sieci elektroenergetycznej 230V AC i natężeniu prądu nie przekraczającym 10A. Pięć identycznych przekaźników sterowanych będzie pinami modułu ESP8266 pośrednio poprzez grupę kluczy tranzystorowych typu NPN. Przewody zasilające sterowane urządzenia RTV/AGD będą podłączone do układu za pomocą pięciu trójpinowych złączy śrubowych, przylutowanych do PCB. W tej części układu zamieszczone zostanie również złącze cyfrowego czujnika temperatury DS18B20. Schemat elektroniczny karty przekaźnikowej przedstawia rysunek 4.



Rys. 4 Schemat elektroniczny karty przekaźnikowej

Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 5 została przedstawiona zmontowana płytki PCB karty przekaźnikowej oraz mozaika ścieżek zaprojektowana według schematu z rysunku 5.



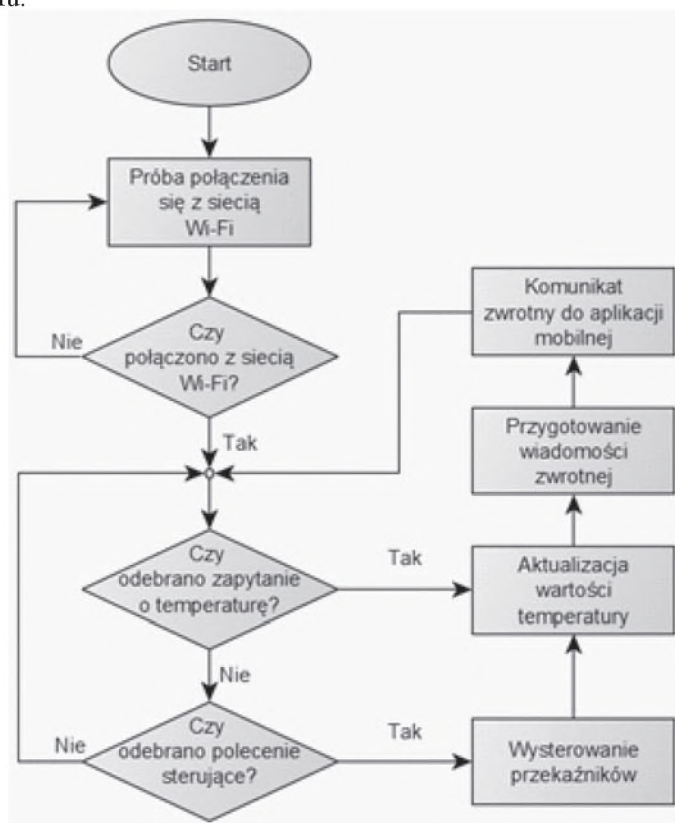
Rys. 5 Karta przekaźnikowa: a) widok od strony elementów, b) widok od dołu, c) zaprojektowana mozaika ścieżek

Źródło: opracowanie własne.

Kolejny etap pracy to zbudowanie optymalnego algorytmu przedstawiającego zakres funkcjonalności programu. Zgodnie z założeniami niniejszego projektu będzie to:

- deklaracja zmiennych globalnych oraz obiektów używanych w kodzie programu,
- ustawienie portów IN/OUT modułu ESP8266,
- inicjalizacja połączenia z siecią Wi-Fi modułu ESP8266,
- ustawienie trybu pracy modułu ESP8266 jako serwer,
- uruchomienie obsługi elektronicznego czujnika temperatury DS18B20,
- uruchomienie pętli głównej programu, która będzie nasłuchiwać komend wysyłanych z urządzeń mobilnych wyposażonych w specjalną aplikację,
- jeśli w odebranej komendzie serwer rozpozna zapytanie dotyczące temperatury, dokona pomiaru wartości z elektronicznego czujnika temperatury,
- jeśli w odebranej komendzie serwer rozpozna komendę sterującą, ma dokonać zmiany stanu pinu wyjściowego, a w konsekwencji włączyć lub wyłączyć styki pożądanego przełącznika,
- każdorazowo, po odebraniu komendy z urządzenia mobilnego, układ wykonawczy odeśle wiadomość zwrotną, w której zawarte zostaną informacje o poprawności wykonania polecenia.

Na rysunku 6 przedstawiono uproszczony algorytm pracy układu wykonawczego w postaci grafu.



Rys. 6 Algorytm pracy układu wykonawczego

Źródło: opracowanie własne.

Implementacji programowej algorytmu układu wykonawczego postanowiono dokonać w języku Arduino. Wybór ten uzasadnia szeroki dostęp do literatury i czasopism poświęconych temu zagadnieniu oraz darmowe zintegrowane środowisko programistyczne IDE (*Integrated Development Environment*), udostępnione na oficjalnej stronie internetowej Arduino¹⁰. Listing 1 przedstawia fragment kodu programu układu wykonawczego. Odpowiada on za realizację zmiany stanów poszczególnych przekaźników na podstawie instrukcji odebranych z urządzenia mobilnego.

Listing 1. Fragment kodu programu układu wykonawczego

```
char komenda[6][3]={"00", "01", "02", "03", "04", "05"};
boolean PK_1_STAN=false, PK_2_STAN=false, PK_3_STAN=false,
PK_4_STAN=false, PK_5_STAN=false;
void sterowanie(void)
{
    String pin = server.arg("pin");
    if (pin.length() > 0)
    {
        if (pin.indexOf(komenda[0]) != -1)
        {
            s=check_pin("check");
        }
        else if (pin.indexOf(komenda[1]) != -1)
        {
            PK_1_STAN=!PK_1_STAN;
            digitalWrite(pK_1,PK_1_STAN);
            s=check_pin("ok");
        }
        else if (pin.indexOf(komenda[2]) != -1)
        {
            PK_2_STAN=!PK_2_STAN;
            digitalWrite(pK_2,PK_2_STAN);
            s=check_pin("ok");
        }
        else if (pin.indexOf(komenda[3]) != -1)
        {
            PK_3_STAN=!PK_3_STAN;
            digitalWrite(pK_3,PK_3_STAN);
            s=check_pin("ok");
        }
        else if (pin.indexOf(komenda[4]) != -1)
        {
            PK_4_STAN=!PK_4_STAN;
            digitalWrite(pK_4,PK_4_STAN);
        }
    }
}
```

¹⁰ Oficjalna strona internetowa Arduino, <https://arduino.cc>, dostęp: 18.11.2017 r.


```
s=check_pin("ok");
}
else if (pin.indexOf(komenda[5]) != -1)
{
PK_5_STAN=!PK_5_STAN;
digitalWrite(pk_5,PK_5_STAN);
s=check_pin("ok");
}
else
{
s=check_pin("ERR");
}
}
content = s;
statusCode = 200;
server.send(statusCode, "application/json", content);
}
```

Aplikacja mobilna

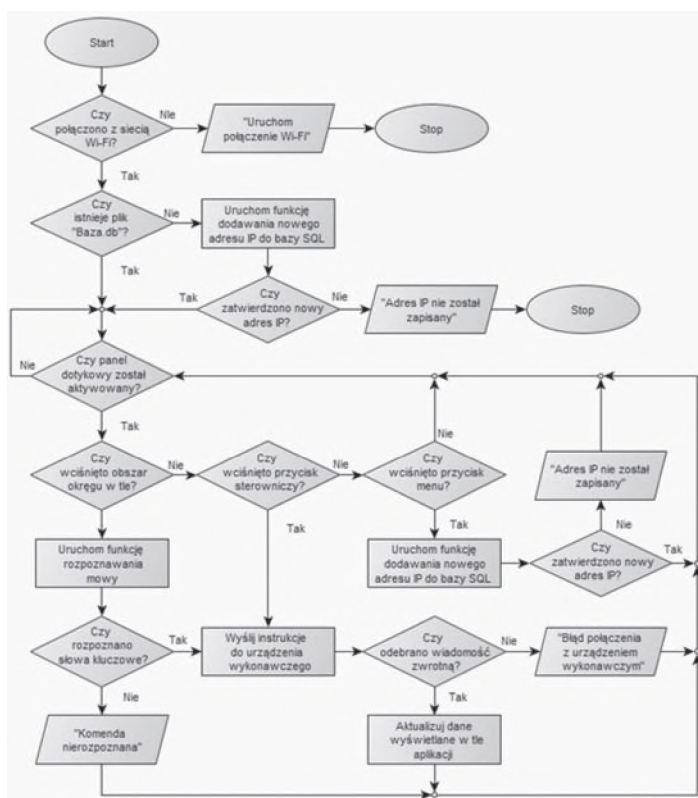
Zgodnie z założeniami niniejszego projektu na algorytm pracy aplikacji składać się będą:

- Sprawdzenie, czy aplikacja ma pełny dostęp do sieci internetowej. Wymagane jest to do prawidłowej pracy mechanizmu rozpoznawania mowy.
- Jeśli połączenie internetowe będzie otwarte, aplikacja sprawdzi, czy w pamięci urządzenia mobilnego istnieje plik bazy danych SQL (*Structured Query Language*) o nazwie Baza.db, przechowujący aktualny adres IP (*Internet Protocol address*) urządzenia wykonawczego. Jeśli plik ten nie istnieje, użytkownik zostanie poproszony o wpisanie nowego adresu IP. Akceptacja wprowadzonego adresu IP wywoła funkcję tworzenia pliku Baza.db.
- Anulowanie wprowadzania nowego adresu IP będzie skutkowało pojawieniem się na ekranie komunikatu. Aplikacja zostanie zamknięta, ponieważ do prawidłowego działania wymagany jest adres IP urządzenia wykonawczego.
- Jeśli plik Baza.db istnieje, aplikacja przejdzie do procedury inicjalizującej zmienne oraz obiekty wykorzystywane w dalszym kodzie programu. Pojawienie się tła aplikacji oznacza jej poprawne uruchomienie.
- Wciśnięcie panelu dotykowego w miejscu dedykowanego przycisku *back* (zawinięta strzałka) spowoduje zakończenie pracy aplikacji.
- Wciśnięcie panelu dotykowego w miejscu dedykowanego przycisku *home* spowoduje przejście aplikacji w tryb pracy w tle.
- Dedykowany przycisk menu wywoła okno edycji zapisanego w bazie danych adresu IP urządzenia wykonawczego.
- Wciśnięcie panelu dotykowego w obszarze przedstawiającym okrąg uruchomi mechanizm rozpoznawania mowy. Świadczył o tym będzie pojawiający się komunikat graficzny na ekranie urządzenia oraz sygnał dźwiękowy. Mechanizm ten jest udostępniany we wszystkich nowszych wersjach systemu Android. Próbkę dźwięku są analizowane z wykorzystaniem

połączenia internetowego z serwerem firmy Google. Rozpoznana mowa zostaje zwrócona w postaci tekstowej, którą następnie można przetwarzać w dowolny sposób.

- Nasłuchiwanie komend zatrzyma się automatycznie po zakończeniu wypowiedzania komendy głosowej. Towarzyszyć temu będzie sygnał dźwiękowy.
- Gdy mowa zostanie poprawnie zinterpretowana przez mechanizm rozpoznający, uruchomiona zostanie funkcja wyszukująca w zapisie mowy słowa kluczowe typu „włącz”, „wyłącz”, „światło”, „temperatura”. Jeśli zapis mowy zawiera słowa kluczowe, zostanie uruchomiona funkcja, która przygotowuje odpowiednią instrukcję dla urządzenia wykonawczego. Instrukcją będzie wygenerowane zapytanie URL (*Uniform Resource Locator*). Tak przygotowany adres URL zostaje wywołany jako osobny proces pracujący w tle aplikacji. Opcja ta umożliwia uniknięcie niekontrolowanego zatrzymania programu w przypadku problemu z połączeniem sieciowym.
- Każdorazowo i niezależnie od tego czy słowa kluczowe zostały znalezione w zapisie mowy, użytkownik otrzyma informację w postaci zwrotnej komendy głosowej. Do tego celu użyto mechanizmu TTS (*Text To Speech*), będącego standardową funkcją systemu mobilnego Android. Zasada działania tego mechanizmu opiera się na synteźniku mowy bazującym na polskim głosie kobiecym. W rezultacie użytkownik otrzyma odpowiedź głosową typu np. „Włączam światło główne.”.

Na rysunku 7 przedstawiono uproszczony algorytm pracy aplikacji mobilnej w postaci grafu.



Rys. 7 Algorytm pracy aplikacji mobilnej

Źródło: opracowanie własne.

Implementacji programowej algorytmu postanowiono dokonać w języku Basic4Android. Wybór ten uzasadnia bardzo rozbudowane zintegrowane środowisko programistyczne IDE. Udostępnia programiście łatwy w obsłudze, wirtualny kreator wyglądu aplikacji oraz narzędzie do bezprzewodowego instalowania aplikacji na urządzenia mobilne przez sieć Wi-Fi. Sam język oparty jest na Basicowej składni. W połączeniu z cechami programowania obiektowego i korzystaniem z bibliotek Java Basic4Android uzyskuje się niemal nieograniczone możliwości przy jednoczesnym zachowaniu dużej łatwości pisania kodu¹¹.

Ze względu na potrzeby projektowe, aplikacji została nadana robocza nazwa „Sterowanie głosem”.

W zintegrowanym środowisku programistycznym Basic4Android należy zaznaczyć, jakie biblioteki są niezbędne do poprawnego działania projektowanej aplikacji. W tym przypadku będą to: Core, Dialogs, HttpUtils2, Network, Phone, Reflection, SQL, StringUtils i TTS. Listing 2 zawiera fragment kodu aplikacji mobilnej, który przedstawia sposób analizy rozpoznanych komend głosowych wypowiedzianych przez użytkownika.

Listing 2 Fragment kodu aplikacji mobilnej

```
Sub VR_Result(Success As Boolean, Texts As List)
  If Success = True Then
    Dim slowo As String = Texts.Get(0)
    If slowo.Contains("yłącz") Then
      If slowo.Contains("omputer") Then
        BT_urz5_Click
        Odpowiedz("Wyłączam komputer.")
      else If slowo.Contains("wiatło główne") Then
        BT_urz1_Click
        Odpowiedz("Wyłączam światło główne.")
      else If slowo.Contains("wiatło boczne") Then
        BT_urz2_Click
        Odpowiedz("Wyłączam światło boczne.")
      else If slowo.Contains("łośniki") Then
        BT_urz4_Click
        Odpowiedz("Wyłączam głośniki.")
      End If
    Else if slowo.Contains("łącz") Then
      If slowo.Contains("omputer") Then
        BT_urz5_Click
        Odpowiedz("Włączam komputer.")
      else If slowo.Contains("wiatło główne") Then
        BT_urz1_Click
        Odpowiedz("Włączam światło główne.")
      else If slowo.Contains("wiatło boczne") Then
        BT_urz2_Click
        Odpowiedz("Włączam światło boczne.")
      End If
    End If
  End Sub
```

¹¹ W. Seagrave, *B4A: Rapid Android App Development using BASIC*, „Penny Press” 2015, Coventry.

```
else If slovo.Contains("łośniki") Then
BT_urz4_Click
Odpowiedz("Włączam głośniki.")
End If
else If slovo.Contains("twórz drzwi") Then
BT_urz3_Click
Odpowiedz("Otwieram drzwi.")
else If slovo.Contains("zamknij drzwi") Then
BT_urz3_Click
Odpowiedz("Zamykam drzwi.")
else If slovo.Contains("śwież") Then
odswierz
Odpowiedz("Aktualizuję dane.")
else If slovo.Contains("temperatura") Then
temperatura=True
odswierz
Else
Odpowiedz("Nie rozpoznano komendy.")
End If
End If
End Sub
```

Obecność niepełnych wyrazów, jak np. „yłącz” lub „omputer” w listingu 2 nie jest przypadkowa. Kolejne linie kodu mają za zadanie porównać wynik rozpoznawania mowy z odpowiednimi, przewidzianymi komendami. Podczas porównywania należy zwrócić uwagę na kilka zagadnień związanych z pisownią i gramatyką łańcuchów znakowych zwracanych z serwera Google. Przykład: funkcja wyszukuje słowo kluczowe „włącz” w odebranych łańcuchu znakowym. Wypowiedzenie polecenia „Włącz komputer” da rezultat w postaci „Włącz komputer”. W takim przypadku funkcja nie znajdzie podobieństwa pomiędzy słowami „włącz” a „Włącz”, ponieważ rozpoczynają się odpowiednio małą i dużą literą. Kolejnym problemem jest różne zakończenie wyrazów, związane z gramatyczną odmianą przez przypadki. Na przykład, gdy użytkownik powie „Niech komputer zostanie włączony”, to funkcja również nie znajdzie pozytywnego porównania pomiędzy słowem kluczowym „włącz”, a słowem rozpoznany „włączony”. Aby uniknąć tego typu problemów, postanowiono porównywać jedynie podstawową część słowa kluczowego. Na przykład dla słowa „włącz” częścią podstawową będzie „łącz”, dla słowa „wyłącz” będzie „yłącz”. Porównując w ten sposób podstawowe nieodmiennie części słów kluczowych, można sterować urządzeniami przy zachowaniu pewnej dowolności wymawianych wyrazów oraz ich kolejności w zdaniu. Pozwala to również uniknąć konieczności sprawdzania wszystkich możliwych kombinacji słów, co ma znaczny wpływ na szybkość działania i przejrzystość kodu aplikacji.

Pierwsze uruchomienie systemu

W pierwszej kolejności należy podłączyć układ wykonawczy do zasilania. Do tego celu, zgodnie z założeniami projektowymi, użyto adaptera sieciowego 230V AC/+5V DC. Po kilku sekundach moduł ESP8266 nawiąże połączenie Wi-Fi z docelowym routerem.

Następny etap wymaga nadania stałego adresu IP dla urządzenia wykonawczego w sieci Wi-Fi. Aby tego dokonać, należy wpisać adres IP routera w dowolnej przeglądarce internetowej (np.: 192.168.0.1), po czym zalogować się do panelu administracyjnego, podając hasło i login. W panelu sterowania należy odszukać opcję DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*). W tym miejscu trzeba znaleźć listę połączonych urządzeń Wi-Fi. Z listy dostępnych wyszukać moduł ESP8266, którego nazwa będzie się zaczynać literami „ESP”, i skopiować jego adres MAC (*Medium Access Control address*). W dalszej kolejności należy przejść do zakładki umożliwiającej przypisanie stałego adresu IP dla urządzenia o konkretnym adresie MAC. Po wprowadzeniu skopiowanego adresu MAC modułu oraz ustaleniu nowego adresu IP konieczne będzie zrestartowanie routera.

Podane w pracy etapy konfiguracji stałego adresu IP mogą się nieco różnić, w zależności od marki/modelu routera, jakim dysponuje użytkownik.

Znając stały adres IP urządzenia wykonawczego można dokonać pierwszego uruchomienia aplikacji na urządzeniach mobilnych. Na ekranie pojawi się tło oraz okno edycyjne tekstu, do którego należy wprowadzić adres IP urządzenia wykonawczego, z którym aplikacja będzie się komunikować (rysunek 8).



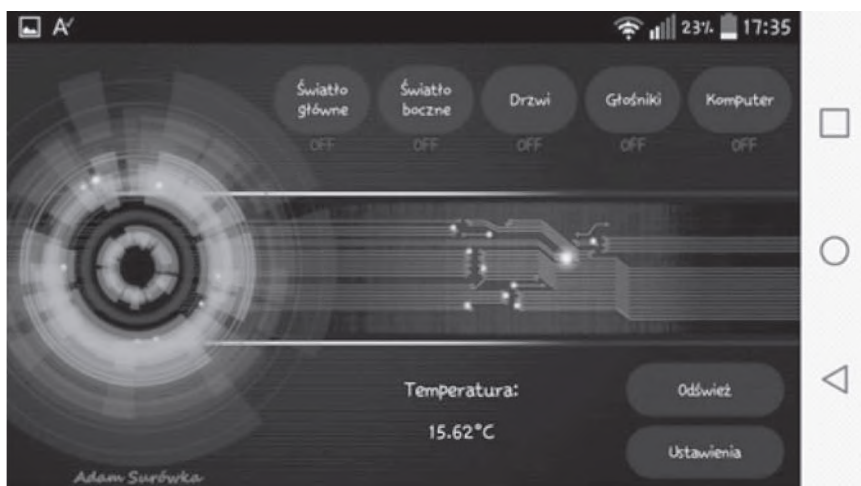
Rys. 8 Wprowadzanie adresu IP urządzenia wykonawczego

Źródło: opracowanie własne.

Po zatwierdzeniu adres IP zostanie zapisany w pamięci urządzenia mobilnego. Dzięki temu nie będzie konieczności ponownego wprowadzania go przy kolejnym uruchomieniu. Jeżeli aplikacji udało się poprawnie nawiązać komunikację z urządzeniem wykonawczym, to na tle ekranu (rysunek 9) pojawiają się:

- wartość temperatury pobrana z urządzenia wykonawczego, wyświetlana w jednostce stopni Celsjusza,
- aktualne stany złącz sterowanych przełączników, oznaczone jako ON – włączone, OFF – wyłączone,
- dodatkowe przyciski, umożliwiające sterowanie przełącznikami, opisane zgodnie z przeznaczeniem sterowanego urządzenia elektrycznego,
- dwa przyciski funkcyjne:

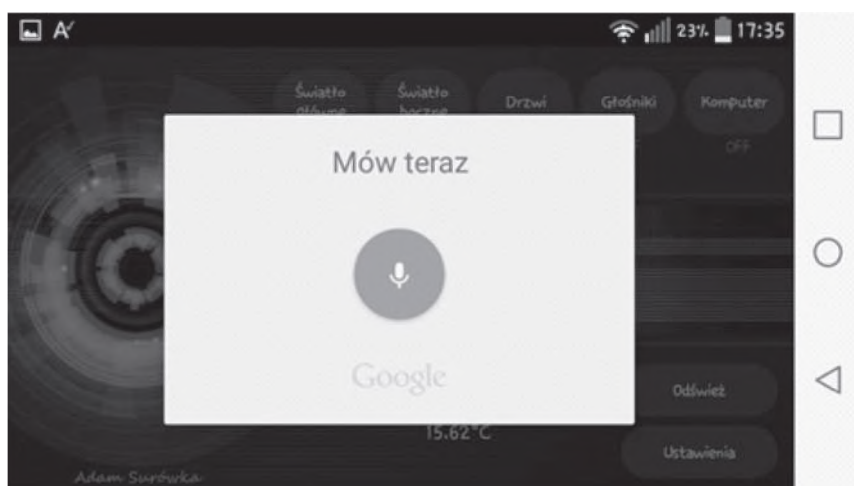
- Odśwież – w korelacji z urządzeniem wykonawczym realizuje aktualizację danych dotyczących aktualnej wartości temperatury i stanów przełączników,
- Ustawienia – otwiera okno edycyjne dla ewentualnej zmiany adresu IP urządzenia wykonawczego,
- graficzny element przedstawiający okrąg, po dotknięciu którego zostanie wywołane zdarzenie rozpoznawania mowy.



Rys. 9 Tło aplikacji mobilnej

Źródło: opracowanie własne.

Aby wywołać zdarzenie rozpoznawania mowy, należy krótko przycisnąć panel dotykowy w obszarze graficznego elementu przedstawiającego okrąg. Na ekranie pojawi się nowe okno oraz krótki sygnał dźwiękowy, oznaczający gotowość aplikacji do przyjmowania komend głosowych (rysunek 10).



Rys. 10 Nasłuchiwanie komend głosowych

Źródło: opracowanie własne.

Mechanizm ten automatycznie zakończy nasłuchiwanie w momencie wykrycia dłuższej przerwy na końcu wymawianego zdania. Następnie użytkownik otrzyma informację zwrotną o poprawności wykonania polecenia. Będzie to komunikat tekstowy pojawiający się na ekranie. Dodatkowo ta sama treść zostanie usłyszana z głośników urządzenia mobilnego. Umożliwi to funkcja zaprogramowanego syntezy mowy. Poprawne rozpoznanie słów kluczowych w wypowiedzi inicjuje proces dwukierunkowej komunikacji pomiędzy aplikacją mobilną, a urządzeniem wykonawczym. Najpierw aplikacja przesyła instrukcje dotyczące wysterowania dostępnych przełączników lub zapytanie dotyczące wartości temperatury. Urządzenie wykonawcze, po odebraniu i wykonaniu instrukcji, odsyła do aplikacji dane dotyczące aktualnych stanów przełączników, a także wartości temperatury z zaimplementowanego czujnika. Aplikacja, na podstawie otrzymanych danych zwrotnych, aktualizuje wyświetlane na ekranie informacje.

Na rysunku 11 przedstawiono tablet, smartfon i smartwatch współpracujące z urządzeniem wykonawczym.



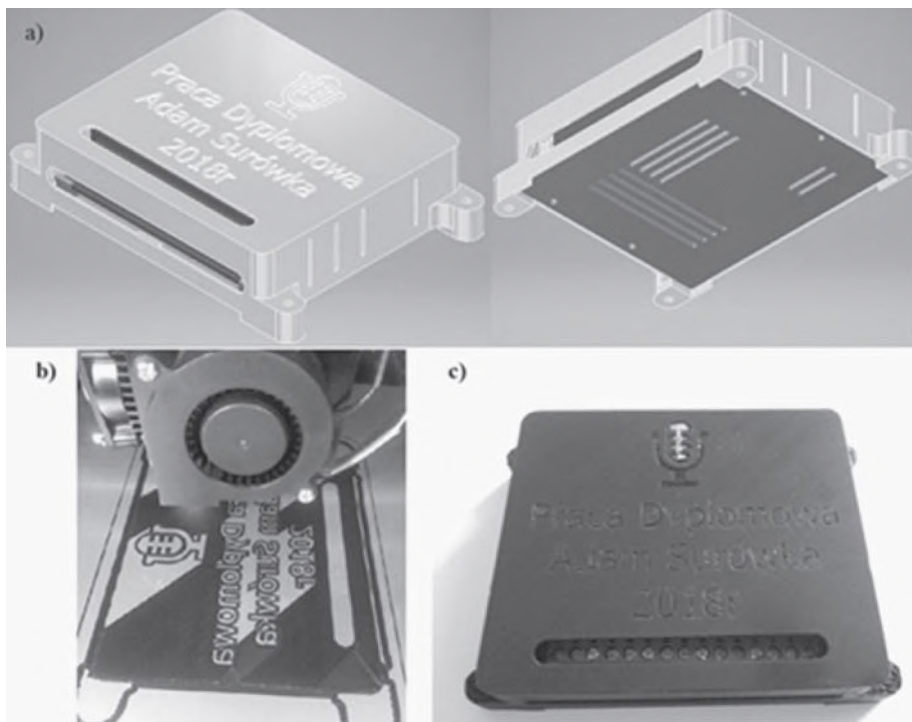
Rys. 11 Testowane urządzenia mobilne

Źródło: opracowanie własne.

Obudowa urządzenia wykonawczego

Po zweryfikowaniu poprawności działania układu przystąpiono do zaprojektowania i wykonania obudowy. Celem było zapewnienie bezpieczeństwa w trakcie obsługi urządzenia, w którym występują napięcia niebezpieczne dla zdrowia i życia człowieka (230V). Model wirtualny został stworzony w programie Autodesk Inventor 2018, wspomagającym

trójwymiarowe projektowanie inżynierskie (rysunek 12a). Dzięki optymalnemu rozmieszczeniu elementów wewnątrz udało się ograniczyć wymiary gabarytowe obudowy do wartości: szerokość: 0,129 m, długość: 0,092 m, wysokość: 0,03 m. Model fizyczny uzyskano, korzystając z technologii wytwarzania przyrostowego FFF (*Fused Filament Fabrication*). Do tego celu użyto maszyny RepRap (*Replicating Rapid-prototyper*), model Anet A8. Urządzenie zaopatrzone w filament typu PLA (*Poly Lactic Acid*). Rysunek 12b przedstawia proces wytwarzania. Po zakończonej operacji usunięto zbędne fragmenty warstw pomocniczych i podporowych. Wewnątrz obudowy umieszczono wszystkie niezbędne elementy konieczne do prawidłowego działania urządzenia (karta przełącznikowa, moduł bezprzewodowej komunikacji Wi-Fi oraz miniaturowy zasilacz impulsowy 5V/1A). Na rysunku 12c przedstawiono układ elektroniczny zamknięty w gotowej obudowie.



Rys. 12 Obudowa urządzenia elektronicznego: a) model wirtualny, b) w trakcie wytwarzania, c) w wersji końcowej

Źródło: opracowanie własne.

Metodyka badań

W celu weryfikacji funkcjonalności skonstruowanego systemu sterowania postanowiono przeprowadzić szereg badań. Miały one wskazać, czy system prawidłowo realizuje wszystkie założenia projektowe. W tym celu do układu wykonawczego podłączono pięć urządzeń sterowanych:

- lampę oświetleniową o mocy 100W, pracującą przy napięciu przemiennym 230V,
- lampę oświetleniową o mocy 200W, pracującą przy napięciu przemiennym 230V,

- zestaw głośników komputerowych o mocy 130W, pracujący przy napięciu przemiennym 230V,
- elektromagnetyczny zamek do drzwi wejściowych, pracujący przy napięciu stałym 12V,
- dwupinowe złącze POWER SW (*Power Switch*) płyty głównej komputera stacjonarnego, symulujące przycisk włączania znajdujący się na obudowie komputera.

Jak można zauważyć, dzięki uniwersalności części elektronicznej istnieje możliwość jednoczesnego sterowania urządzeniami zasilanymi zarówno prądem stałym, jak i przemiennym i o różnych wartościach napięcia.

Testowanie układu miało miejsce w domu jednorodzinnym, w obszarze jednego, zamkniętego pomieszczenia mieszkalnego o wymiarach: szerokość 5 m, długość 5 m, wysokość 2,5 m. Do celów badawczych poproszono cztery osoby: dwóch mężczyzn w wieku 24 i 55 lat oraz dwie kobiety w wieku 21 i 65 lat. Podczas testów w pomieszczeniu znajdowała się tylko jedna osoba, która korzystała z aplikacji zainstalowanej na dowolnie wybranym przez siebie urządzeniu mobilnym. Odległość używanego tabletu, smartfonu lub smartwatcha od routera udostępniającego sieć Wi-Fi była za każdym razem taka sama i wynosiła 3 m. Odległość urządzenia wykonawczego od źródła sieci Wi-Fi również była stała i dla każdego badania wynosiła 4 m. Wszystkie osoby biorące udział w badaniu poproszono o wydawanie poleceń głosowych zgodnie z przeznaczeniem urządzenia wykonawczego. Do tego celu przedstawiono im jedynie słowa kluczowe, które system powinien rozpoznać, natomiast kontekst wypowiedzi miał być zupełnie dowolny. W efekcie dla jednego urządzenia sterowanego pojawiały się komendy typu: „Włącz komputer”, „Komputer włącz”, „Niech komputer zostanie włączony”, „Chcę włączyć komputer”, „Włączaj komputer”. Każda osoba miała za zadanie wypowiedzieć po dwadzieścia różnych komend. Badanie przeprowadzono dwukrotnie, aby sprawdzić, jak system będzie funkcjonował w zupełnie wyciszonym pomieszczeniu oraz jaki wpływ będą wywoływać zakłócenia emitowane z elektronicznego generatora hałasu akustycznego.

Pierwsze badanie dowiodło, że w wyciszonym pomieszczeniu zaprojektowany system sterowania głosowego działa zupełnie prawidłowo. Wszystkie komendy, wydawane niezależnie od kontekstu wypowiedzi, płci czy wieku użytkownika, zostały właściwie zrealizowane. W trakcie drugiego testu zostało zdiagnozowane pewne ograniczenie. Związane jest ono z propagacją zakłóceń akustycznych. Stwierdzono, iż hałas o wartości powyżej 60db sprawia, że mechanizm rozpoznawania mowy nie zwraca prawidłowego wyniku. Wraz ze spadkiem tej wartości funkcja realizuje analizę wypowiedzianych słów znacznie szybciej i z mniejszą ilością błędów porównania.

Podsumowanie

Prezentowany system sterowania działa na zasadzie wymiany danych za pośrednictwem sieci bezprzewodowej Wi-Fi. Dane wymieniane są pomiędzy urządzeniem mobilnym (smartfon, smartwatch, tablet) a urządzeniem wykonawczym. Sterowanie może być realizowane dzięki mechanizmowi rozpoznawania mowy, który stanowi standardowe wyposażenie systemu mobilnego Android.

Do wykonania obwodu drukowanego układu wykonawczego posłużono się metodą fotolitografii pozytywowej. W celu zabezpieczenia mozaiki ścieżek wykonano proces bezprądowego cynowania chemicznego w roztworze wodnym. Montaż elementów elektronicznych przeprowadzono metodą lutowania powierzchniowego dla elementów w obudowach SMD

oraz lutowania przewlekanego THT (*Trough-Hole Technology*) dla pozostałych elementów. Kod programu urządzenia wykonawczego został napisany w języku Arduino, natomiast aplikacji mobilnej w języku Basic4Android. Napięcie zasilania układu wykonawczego jest równe +5V, a pobór prądu jest mniejszy niż 1A.

Przedstawiony w artykule projekt jest koncepcją wskazującą na ogromny potencjał wynikający z synergii zastosowanych tu elementów mechatronicznych. Zgodnie z założeniami możliwe jest użycie dowolnego urządzenia mobilnego, pracującego w oparciu o platformę systemową Android w wersji 4.2 lub nowszej. Układ działa prawidłowo niezależnie od tego, które z testowanych urządzeń mobilnych przesyła polecenie. Zasięg sterowania determinuje moc sygnału oraz odległość od routera Wi-Fi. Prawidłowe rozpoznawanie komend głosowych jest możliwe niezależnie od barwy głosu, płci lub wieku operatora, co zostało udowodnione podczas przeprowadzonych badań. Nie zaleca się jednak korzystania z dedykowanej aplikacji mobilnej w pomieszczeniach, w których może występować hałas na poziomie powyżej 60 db. Takie zakłócenia akustyczne sprawiają, że mechanizm rozpoznawania mowy może zwracać błędne wyniki analizy wypowiedzianych słów. Podczas długoterminowej eksploatacji układu nie stwierdzono żadnych problemów zarówno sprzętowych, jak i programowych. Wszystkie polecenia wydawane przez operatorów zostały wykonane prawidłowo. Dzięki kompaktowym rozmiarom obudowy układ wykonawczy może być montowany w niemal dowolnym miejscu.

Rozpowszechnienie urządzeń mobilnych w dzisiejszych czasach sprawia, że korzystanie z tego zestawu jest przyjemne i łatwe w obsłudze. Zastosowanie takiego rozwiązania może być bardzo szerokie, począwszy od realizacji prostej automatyki budynkowej, poprzez nadzór procesów przemysłowych, a nawet usprawnienie codziennego życia osobom w podeszłym wieku lub niepełnosprawnym.

Bibliografia

- Ceuron eDom, www.ceuron.pl/program.php?program=eDom, dostęp: 17.12.2017 r.
- Danowski B., *Wi-Fi. Domowe sieci bezprzewodowe*, Helion, Gliwice 2010.
- Deitel P., Deitel H., Wald A., *Android 6 dla programistów*, Helion, Gliwice 2016.
- Dębowski A., *Automatyka. Podstawy teorii*, WNT, Warszawa 2016.
- Domachowski Z., *Automatyka i robotyka. Podstawy*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2003.
- Głosowe sterowanie domem free@home*, <https://new.abb.com/buildings/pl/livingspace/glosowe-sterowanie-domem>, dostęp: 17.12.2018 r.
- Hadam P., Kopeć M., *System automatyki inteligentnego budynku*, „Elektronika Praktyczna” 2005, nr 12.
- Inteligentny dom Blebox*, <https://blebox.eu/pl/>, dostęp: 17.12.2017 r.
- Jabłoński T., *Moduł Wi-Fi HF-A11*, „Elektronika Praktyczna” 2016, nr 2.
- Kalinowski B., *Hakowanie sieci WiFi*, „Hakin9” 2007, nr 9.
- Karbowniczek M., *Jedno- i wielodotykowe ekrany pojemnościowe*, „Elektronika Praktyczna” 2011, nr 2.

- Karbowniczek M., *Zastosowania czujników w nowoczesnej elektronice użytkowej*, „Elektronika Praktyczna” 2012, nr 7.
- Karbowniczek M., *Sieci bezprzewodowe z punktu widzenia elektronika*, „Elektronika Praktyczna” 2013, nr 11.
- Kardaś M., *Mikrokontrolery AVR Język C – podstawy programowania*, Atmel, Szczecin 2013.
- Kessin Z., *HTML 5 Pogromowanie aplikacji*, Helion, Gliwice 2012.
- Kostro J., *Elementy, urządzenia i układy automatyki*, WSiP, Warszawa 1998.
- Kubanek M., *Analysis of signal of audio speech in process of speech recognition*, „Computing, Multimedia and Intelligent Techniques” 2006, nr 1.
- Kwiatkowski W., *Wprowadzenie do automatyki*, BEL Studio, Warszawa 2010.
- Lehembre G., *Bezpieczeństwo Wi-Fi – WEP, WPA i WPA2*, „Hakin9” 2006, nr 1.
- Mąka M., Dramski M., *Rozpoznawanie mowy w systemie zarządzania zdarzeniami radiokomunikacyjnymi*, „Autobusy: Technika. Eksploatacja. Systemy transportowe” 2016, nr 12.
- Mięsikowska M., Ruiter de E., *Automatic recognition of voice commands in a car cabin*, „Pomiary Automatyka Kontrola” 2014, nr 8.
- Monk S., *Arduino i Android. Niesamowite projekty*, Helion, Gliwice 2012.
- Niklas P., Redlarski G., *Laboratorium urządzeń automatyki i mechatroniki*, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2012.
- Oficjalna strona internetowa Arduino, <https://arduino.cc>, dostęp: 18.11.2017 r.
- Oknoplast wprowadza inteligentne okna, drzwi i rolety sterowane głosowo, <https://oknoplast.com.pl/oknoplast-wprowadza-inteligentne-okna-drzwi-rolety-sterowane-glosowo/>, dostęp: 17.12.2017 r.
- Regulski R., Nowak A., *Zastosowania systemów rozpoznawania mowy do sterowania i komunikacji głosowej z urządzeniami mechatronicznymi*, „Pomiary. Automatyka. Robotyka” 2013, nr 2.
- Rogalski J., Hasse L., *Sterowanie czujnikami w sieci zigbee przy pomocy komend głosowych*, „Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej” 2011, nr 30.
- Rząsa M. R., Kiczma B., *Elektryczne i elektroniczne czujniki temperatury*, WKŁ, Warszawa 2005.
- Schwartz M., *Arduino. Automatyka domowa dla każdego*, Helion, Gliwice 2015.
- Seagrave W., *B4A: Rapid Android App Development using BASIC*, „Penny Press” 2015, Coventry.
- Sterowanie głosem Fibaro*, <https://fibaro.com/pl/why-fibaro/>, dostęp: 17.12.2017 r.
- Sterowanie głosem z Blebox*, <https://wroled.pl/pl/n/Sterowanie-glosem-z-Blebox/46>, dostęp: 17.12.2017 r.
- Yuschenko A., Morozov D., Zhonin A., *Speech control for mobile robotic systems*, „Acta mechanica et automatic” 2008, nr 3.
- Ziółko B., Ziółko M., *Przetwarzanie mowy*, Wydawnictwa AGH, Kraków 2011.

SUMMARY

Adam Surówka

**Conceptual project of the control system for electrical devices
using voice commands**

Currently, there are many mobile applications working in integrated building automation control systems. The author, attempting to go a step further, decided to extend the standard method of electrical devices controlling by adding the possibility of two-way verbal communication. Thanks to this, in addition to the standard procedure of the function keys controlling, the control process can be carried out using the voice commands issued by the operator. The application dedicated to the Android system platform has been designed in such a way that it can be operated by any person regardless of their age, gender or voice tone. Additionally, after making the appropriate configuration of the mobile device, it is possible to issue voice commands in a very wide range of foreign languages. In addition, the user interface allows you to hear a response regarding the correctness of the given command. This function has been implemented using a built-in speech synthesizer.

Key words: mobile application, Android, speech recognition, control system, mobile devices, smartphone, smartwatch, tablet, building automation.

Data wpływu artykułu: 18.04.2018 r.

Data akceptacji artykułu: 4.06.2018 r.