Urządzenia Peryferyjne

Ćwiczenie 3 – Karty Mikroprocesorowe (GSM/SIM)

Autorzy
Dawid Waligórski (264015)
Adrian Kotula (263989)

Data wykonania ćwiczenia
25.01.2024

Prowadzący
Dr. Inż. Dariusz Caban

Spis treści

1 Cele ćwiczenia

Celem ćwiczenia było zapoznanie studentów z działaniem kart mikroprocesorowych GSM/SIM a także sposobem ich obsługi przy pomocy komend APDU. W jego ramach mieli oni napisać aplikację pozwalającą na odczytywanie przy pomocy interfejsu PC/SC książki telefonicznej i listy SMS-ów zapisanych na dostępnych w laboratorium kartach.

2 Wstęp teoretyczny

2.1 Budowa i działanie kart mikroprocesorowych

Karty mikroprocesorowe, znane również jako karty SIM, są formą niewielkiego, mobilnego nośnika danych, który może być wykorzystywany w celu pełnienia różnego rodzaju usług (m.in. telefonicznych). Wyposażone są one w układ scalony, który pełni kluczową rolę w przetwarzaniu oraz przechowywaniu danych. Ów układ można podzielić zasadniczo na 3 główne komponenty:

- **Mikroprocesor** – odpowiadający za przetwarzania informacji przychodzących z zewnątrz jak i z wewnątrz karty.
- **Pamięć** – odpowiadającą za przechowywanie danych odpowiadających usłudze, której przypisana jest karta. Najczęściej pozwalającą na wielokrotny zapis z funkcją kasowania impulsem elektrycznym (*EEPROM, eng. electrically erasable programmable read only memory*).
- **Interfejs** – dla kart stykowych obecnego formie zbioru widocznych na awersie karty pozłacanych styków, służących do komunikacji z innymi urządzeniami. Wśród owych styków można wyróżnić m.in. styk informacyjny pozwalający na dwustronną (simpleksową) komunikację z urządzeniami zewnętrznymi, a także styk z napięciem odniesienia (*gnd*) oraz styk doprowadzający zewnętrzne napięcie programowania (V_{pp}), wymagane przy zapisie danych do karty.

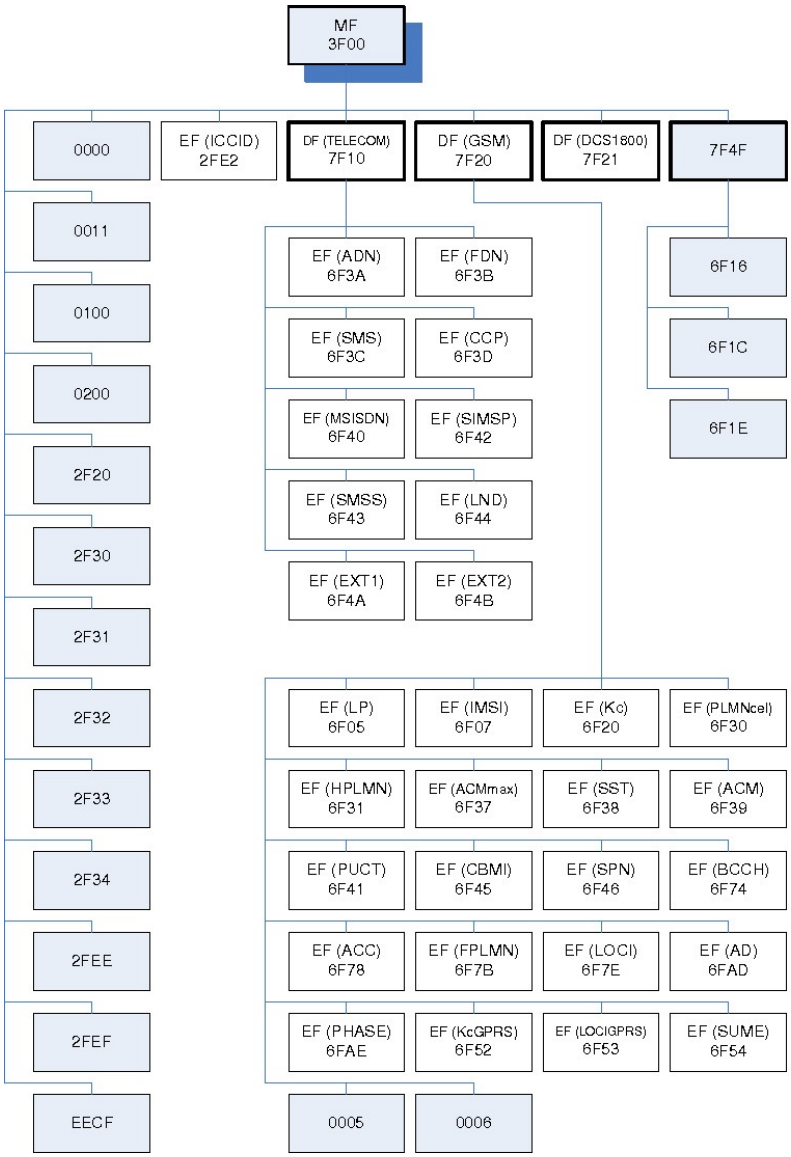
Karty SIM w odróżnieniu do kart magnetycznych oferują wyższy poziom bezpieczeństwa danych. Wynika to z faktu, iż mikroprocesor karty posiada możliwość kontrolowania dostępu do pewnych obszarów pamięci. Pierwszym z nich jest obszar swobodnego odczytu, który zawiera informacje powszechnie znane nt. karty i jej użytkownika. Drugim, obszar poufny, który dostępny jest dopiero po podaniu odpowiedniego kodu PIN (przy czym kilkukrotne podanie błędnego kodu może zostać wykryte i spowodować blokadę karty). W końcu ostatnim obszarem jest obszar roboczy karty, który zawiera dane ulegające ciągłej modyfikacji.

Ponadto karty mikroprocesorowe podzielić można ze względu na typ posiadanego przez nie interfejsu komunikacji z urządzeniami zewnętrznymi. W ten sposób wyróżnić można karty stykowe (zgodne normą *ISO-78156*) oraz karty bezstykowe (zgodne z normą *ISO-14443*), które pozwalają na komunikację przy pomocy fal elektromagnetycznych. W przypadku realizowanego zadania do dyspozycji były wyłącznie karty stykowe.

System plików na kartach SIM jest hierarchiczny (rys. 1). Podzielony może on zostać na trzy zasadnicze typy plików:

- **Master file (MF)** – katalog główny.
- **Dedicated file (DF)** – katalog karty, będący odpowiednikiem folderu.
- **Elementary file (EF)** – zbiór, będący odpowiednikiem pliku.

Każdy plik dowolnego typu zawarty na karcie przypisany ma ponadto 2-bajtowy adres (nazwa pliku), służący do jego jednoznacznej identyfikacji. Z zasady zapisywany jest on w postaci heksadecymalnej. W przypadku realizowanego zadania w centrum zainteresowania znalazły się pliki `EF ADN` (książka adresowa) oraz `EF SMS` (zawierający SMS-y) z `DF TELECOM`.



Rysunek 1: Schemat systemu plików karty mikroprocesorowej (GSM\SIM)

2.2 Komunikacja z kartą mikroprocesorową (stykową)

Komunikacja ze stykową kartą mikroprocesorową może zostać przeprowadzona z użyciem specjalnego interfejsu PC/SC. Po włożeniu do niego karty wysyła on do niej sygnał *RESET*-u. Karta odpowiada na niego 32-znakową sekwencją *ATR* (*answer to reset*). Owa sekwencja przenosi dane niezbędne do nawiązania skutecznej komunikacji, na które składają się między innymi:

- Rodzaju karty
- Długości trwania jednego bitu, czyli *ETU* (*elementary time unit*)
- Używanym protokole komunikacyjnym (najczęściej T_0 lub T_1)
- Częstotliwości sygnału zegarowego karty
- Napięciach, mocach i prądach niezbędnych do poprawnego programowania karty

Dalsza komunikacja między interfejsem a kartą również odbywa się w trybie simpleksowym, zgodnym z protokołem *APDU* (*Application Protocol Data Unit*). Polega ona na wysyłaniu odpowiednich komend przez interfejs stykowy oraz wysyłaniu przez kartę odpowiedzi na owe komendy.

Jednostka danych przenosząca komendę dla karty określana jest jako *Command PDU* (*CPDU*). Ogólna struktura tej jednostki przestawiona została w tabeli 1.

Tabela 1: Ogólna struktura CPDU

CLA	Klasa karty reprezentowana przez wartość 1-bajtową. Wynosi 0xA0 dla kart rozważanych na laboratorium.
INS	Identyfikator instrukcji dla mikroprocesora karty reprezentowana przez wartość 1-bajtową.
P1	Parametr 1 instrukcji, będący liczbą 1-bajtową.
P2	Parametr 2 instrukcji, będący liczbą 1-bajtową.
Lc	Długość pola danych komendy (w bajtach).
DATA	Pole danych komendy.
Le	Spodziewana długość odpowiedzi (w bajtach).

Jednostka danych przenosząca odpowiedź karty na komendę określana jest jako *Response PDU* (*RPDU*) Jej ogólna struktura przedstawiona została w tabeli 2. Zawiera ona w sobie 2-bajtową informację SWx, która pozwala ustalić status wykonania uprzednio wykonanej instrukcji. Przykładowymi statusami są:

- 0x9000 – komenda wykonała się poprawnie
- 0x61** – komenda wykonała się poprawnie. Do odebrania pozostało ** bajtów odpowiedzi.
- 0x69** – komenda jest niedozwolona. Przyczyna jest zakodowana przez liczbę **.

Tabela 2: Ogólna struktura RPDU

DATA	Dane odpowiedzi.
SW1	Wyższy bajt słowa statusowego odpowiedzi.
SW2	Niższy bajt słowa statusowego odpowiedzi.

2.3 Zestaw komend używanych w ćwiczeniu

W celu realizacji ćwiczenia przygotowano zestaw niezbędnych do odczytania EF ADN oraz EF SMS CPDU. Były to:

- SELECT FILE – komenda wybierająca wskazany plik z karty. Jej struktura zawarta została w tabeli 3.

Tabela 3: Struktura komendy SELECT FILE

CLA	0xA0
INS	0xA4
P1	0x00
P2	0x00
Lc	0x02 (długość adresu)
DATA	2-bajtowy adres pliku
Le	-

- GET RESPONSE – komenda pobierająca z karty odpowiedź na ostatnią komendę. Jej struktura została zawarta w tabeli 4.

Tabela 4: Struktura komendy GET RESPONSE

CLA	0xA0
INS	0xC0
P1	0x00
P2	0x00
Lc	-
DATA	-
Le	Długość spodziewanej odpowiedzi (w bajtach)

- `READ RECORD` – komenda odczytująca rekord z aktualnie wybranego EF. Jej struktura zawarta została w tabeli 5.

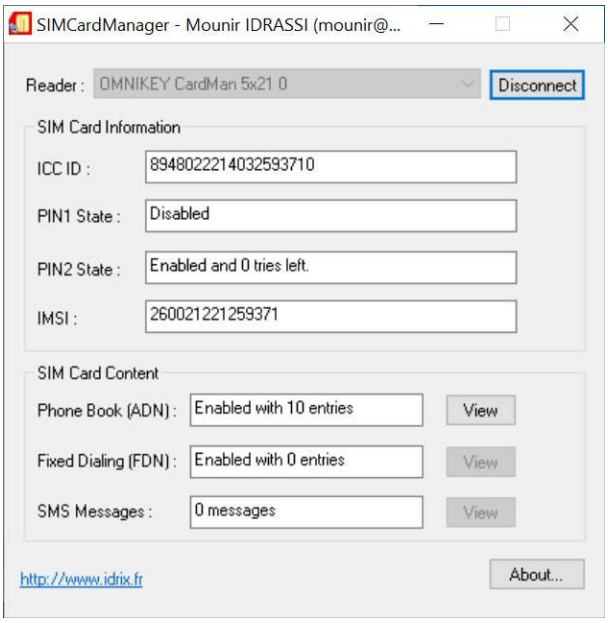
Tabela 5: Struktura komendy READ RECORD

`CLA`	`0xA0`
`INS`	`0xB2`
`P1`	Numer rekordu do odczytania
`P2`	`0x04` (odczytanie wyłącznie rekordu z `P1`)
`Lc`	-
`DATA`	-
`Le`	Długość spodziewanej odpowiedzi (w bajtach)

3 Realizacja zadania laboratoryjnego

3.1 Przetestowanie kart SIM oraz podejrzenie ich zawartości

W pierwszej części laboratorium zapoznano się z zestawem dostępnych kart SIM. Były to karty telefoniczne należące do operatorów: *Plus* oraz *T-Mobile*. W tym celu każdą z nich włożono do podłączonego do komputera interfejsu *OMNIKEY CardMan* oraz spróbowano odczytać ich zawartość przy pomocy programu *SIMCardManager*. Mimo licznych prób niemożliwym okazało się odczytanie zawartości karty *Plus*. Z powodzeniem odczytano jednak zawartość karty *T-Mobile* (rys. 2). Okazało się, iż zawiera ona wyłącznie dane w postaci książki adresowej. W związku z tym porzucono jeden z punktów ćwiczenia polegający na odczytaniu listy SMS-ów.



Rysunek 2: Wynik odczytania danych z karty T-Mobile widoczny w programie SIMCardManager

3.2 Implementacja aplikacji

3.2.1 Opis działania aplikacji

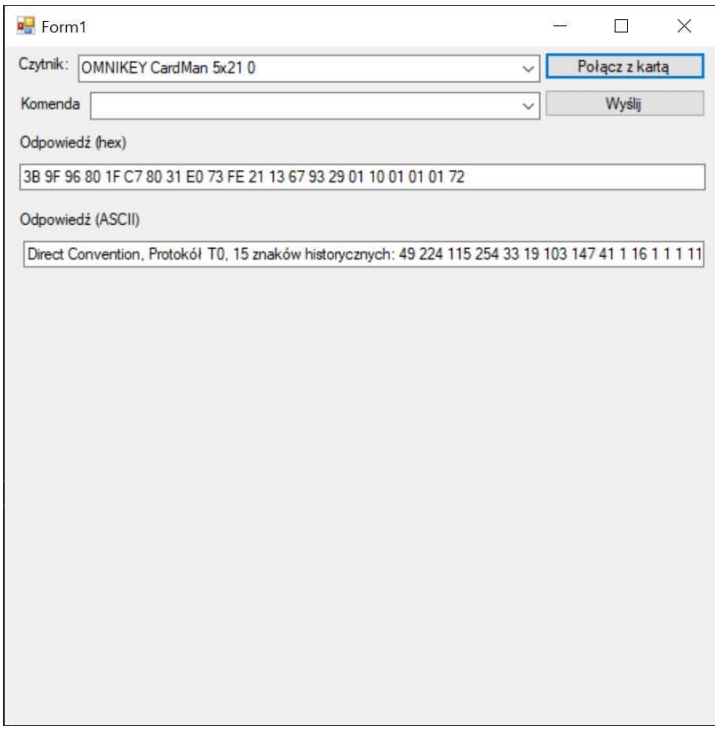
W drugiej części laboratorium studenci mieli zaimplementować aplikację na komputer PC, która umożliwić miała:

- Wyświetlenie nazwy podłączonego do komputera czytnika kart

- Wybór czytnika kart
- Wysyłanie komend (w formie HEX) do czytnika oraz wyświetlenie odpowiedzi karty (zarówno w formie HEX jak i znakowo)
- Odczytanie listy kontaktów (książkę telefoniczną)
- Odczytanie listy SMS-ów, wyświetlanie danych technicznych oraz ich treści

W ramach zajęć udało się zaimplementować jedynie część z wymienionych funkcjonalności (szczegóły w odpowiednich podsekcjach). Z powodów opisanych w sekcji *3.1* nie udało się odczytać listy SMS-ów. Niepowodzeniem zakończyły się także próby odczytania listy kontaktów zapisanej na karcie.

Stworzona aplikacja została wykonana za pomocą technologii *.NET* (*Windows Forms*). Umożliwiło to łatwe wyposażenie jej w graficzny interfejs użytkownika (rys. 3). Działanie poszczególnych elementów zawartych na interfejsie przedstawiono w tabeli 6. Przy implementacji aplikacji skorzystano również z biblioteki *pcsc-sharp* dla języka *C#* [2]. Pozwala ona na proste oprogramowywanie komunikacji komputera z kartą mikroprocesorową za pośrednictwem interfejsu PC/SC.



Rysunek 3: Wygląd graficznego interfejsu użytkownika zaimplementowanej aplikacji

Tabela 6: Opis działania poszczególnych elementów interfejsu

Element interfejsu	Funkcja
Przycisk „Połącz z kartą”	Nawiązanie połączenia z kartą przy pomocy czytnika wybranego na liście „Czytnik”.
Przycisk „Wyślij”	Wysłanie do czytnika komendy CPDU.
Lista „Komenda”	Lista jednokrotnego wyboru, zawierająca możliwe do wysłania przy pomocy programu komendy CPDU.
Pole „Odpowiedź (hex)”	Przedstawienie odpowiedzi karty na ostatnią wysłaną komendę w postaci HEX.
Pole „Odpowiedź (ASCII)”	Przedstawienie odpowiedzi karty na ostatnią wysłaną komendę w postaci znakowej.

Lista „Czytnik”	Lista jednokrotnego wyboru spośród wszystkich dostępnych czytników PC/SC.

3.2.2 Wyświetlanie nazwy podłączonego czytnika i wybór czytnika

Wraz z inicjalizacją aplikacji dokonuje ona skanowania systemu w celu identyfikacji podłączonych do komputera czytników przy pomocy metody *getReaders* (listing 1), która uzupełnia listę czytników aplikacji. Dodatkowo, w przypadku odnalezienia co najmniej jednego czytnika PC/SC metoda automatycznie ustala domyślnie wybrany czytnik (pierwszy znaleziony czytnik). W przeciwnym razie, gdy nie wykryty zostanie żaden czytnik, zwróci ona odpowiedni status, który po odczytaniu spowoduje awaryjne zamknięcie aplikacji (przy jednoczesnym poinformowaniu użytkownika o powodzie zamknięcia).

Listing 1: Kod metody pozwalającej na uzyskanie informacji o czytnikach podłączonych do komputera i wybór czytnika

```
bool getReaders()
{
      context.Establish(SCardScope.System);
      string[] availableReaders = context.GetReaders();
      if(availableReaders.Length == 0)
      {
            MessageBox.Show("Brak czytnika");
            return false;
      }
      foreach (var availableReader in availableReaders)
      {
            readerList.Items.Add(availableReader);
      }

      readerList.SelectedIndex = 0;
      return true;
}
```

3.2.3 Łączenie czytnika z kartą

Łączenie czytnika z kartą inicjowane jest za pomocą przycisku „Połącz z kartą”. Jego wciśnięcie powoduje wywołanie metody *connectButton_Click* (listing 2). Powoduje ona połączenie komputera z wybranym w GUI czytnikiem, a następnie próbę nawiązania połączenia między czytnikiem a kartą mikroprocesorową (przy użyciu protokołów T_0 lub T_1). Później metoda weryfikuje powodzenia tej próby przy pomocy metody *checkCardError* (listing 3). W przypadku pomyślnej weryfikacji aktywowany jest dostęp do funkcji wysyłania komend oraz odbierana i wyświetlana w GUI jest sekwencja *ATR*.

Listing 2: Metoda pozwalająca na połączenie z komputera z kartą za pośrednictwem wybranego czytnika PC/SC

```
private void connectButton_Click(object sender, EventArgs e)
{
      reader = new SCardReader(context);
      SCardError error = reader.Connect(
            readerList.SelectedItem.ToString(),
            SCardShareMode.Shared,
            SCardProtocol.T0 | SCardProtocol.T1
      );

      if (!checkCardError(error))
            return;
```

```
        if (  reader.ActiveProtocol != SCardProtocol.T0 &&
              reader.ActiveProtocol != SCardProtocol.T1)
        {
              MessageBox.Show(
                    "Aktywny protokół nie jest odbługiwany!");
              sendCommandButton.Enabled = false;
        }
        else
        {
              MessageBox.Show("Połączono z kartą");
              sendCommandButton.Enabled = true;
              byte[] buffer;
              reader.GetAttrib(
                    SCardAttribute.AnswerToResetString, out buffer
              );
              printToRespondeBox(buffer);
              parseAtr(buffer);
        }
}
```

Listing 3: Metoda sprawdzająca wystąpienie błędu w komunikacji z kartą

```
bool checkCardError(SCardError error)
{
        if(error != SCardError.Success)
        {
              MessageBox.Show(
                    "Wystąpił błąd karty: " + error.ToString()
              );
              return false;
        }
        return true;
}
```

3.2.4 Wysyłanie komend do czytnika i odbiór odpowiedzi

Wysłanie komendy do czytnika inicjowane jest za pomocą przycisku „Wyślij". Jego wciśnięcie powoduje wywołanie metody *sendCommand* (listing 4). Powoduje ona pobranie aktualnie wybranej komendy z listy dostępnych komend widocznej w GUI. Następnie buduje ona odpowiednią, zgodną z treścią sekcji *2.3 CPDU*. Owa *CPDU* zostaje później wysłana do karty, a poprawność transmisji zostaje zweryfikowana przy pomocy metody *checkCardError*. W przypadku pozytywnej weryfikacji wyświetlona na GUI zostaje również odebrana odpowiedź karty. Wykorzystywana jest przy tym metoda *printToRespondeBox* (listing 5).

Listing 4: Metoda wysyłająca wybraną komendę do czytnika i odbierająca odpowiedź na nią

```
void sendCommand()
{
        string commandString = commandList.SelectedItem.ToString();
        byte[] command = new byte[] { };
        byte[] response = new byte[256];
        switch (commandString)
        {
              case "select file telecom":
```

```
                command = new byte[]
                { 0xA0, 0xA4, 0x00, 0x00, 0x02, 0x7F, 0x10 };
            break;

            case "select file adn":
                command = new byte[]
                { 0xA0, 0xA4, 0x00, 0x00, 0x02, 0x6f, 0x3a };
            break;
            case "select file mf":
                command = new byte[]
                { 0xA0, 0xA4, 0x00, 0x00, 0x02, 0x3f, 0x00 };
            break;

            case "read record":
                command = new byte[]
                { 0xA0, 0xB2, 0x00, 0x04, 0x1C};
            break;

            case "get response":
                command = new byte[]
                { 0xa0, 0xc0, 0x00, 0x00, 0xFF};
            break;

            default:
                MessageBox.Show("Nieprawidłowa komenda");
                return;
        }
        SCardError error = reader.Transmit(command, ref response);
        if (!checkCardError(error))
            return;
        printToRespondeBox(response);
}
```

Listing 5: Metoda wyświetlająca odpowiedź karty

```
void printToRespondeBox(byte[] response)
{
        string answerStrHex =
            BitConverter.ToString(response).Replace("-", " ");
        responseBoxHex.Text = answerStrHex;

        string answerStrAscii = "";
        switch (response[0])
        {
            case 0x9f:
                answerStrAscii = "Komenda wykonała się poprawnie.
                Pozostało " + response[1] + " bajtów odpowiedzi.";
            break;
            default:
                answerStrAscii =
                System.Text.Encoding.ASCII.GetString(response);
            break;
        }
```

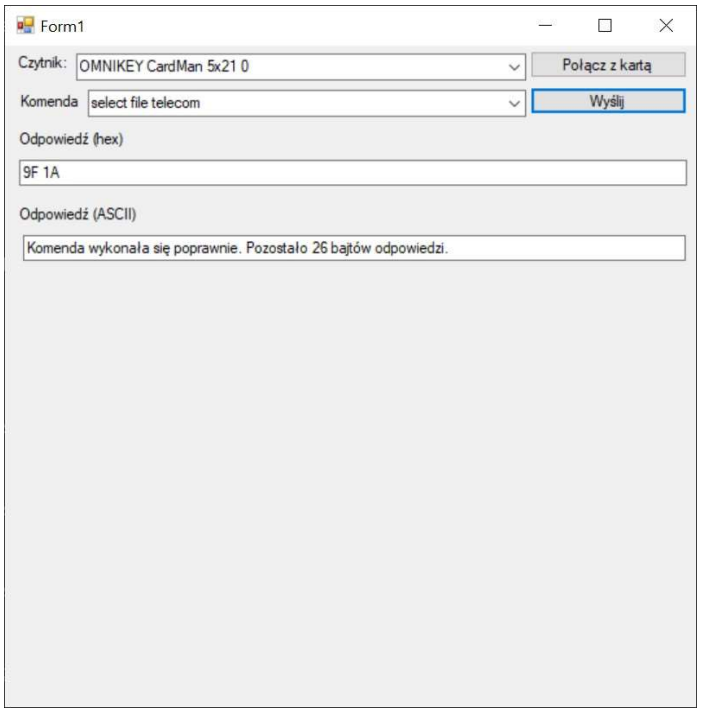
```
        responseBoxAscii.Text = answerStrAscii;
}
```

3.2.5 Odczytanie listy kontaktów

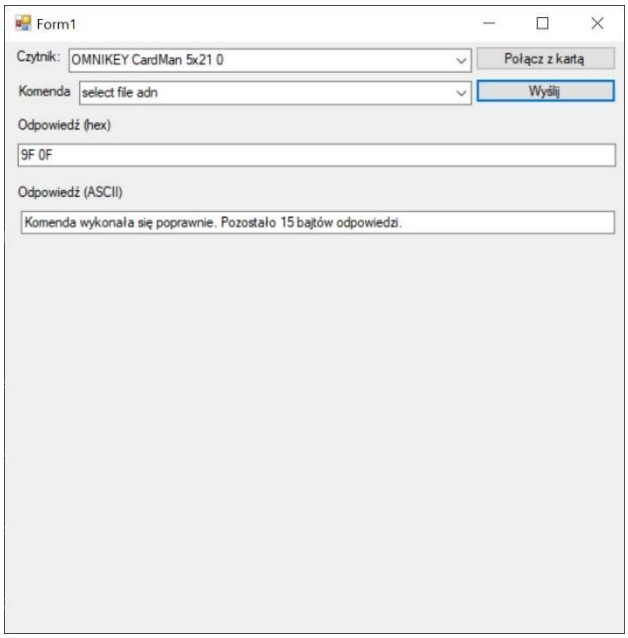
W ramach laboratorium podjęto również próby odczytania listy kontaktów karty. Planowano w tym celu wykorzystać sekwencję instrukcji:

1. `SELECT FILE TELECOM` – przejście do `DF TELECOM`
2. `SELECT FILE ADN` – przejście do `EF ADN`
3. `GET RESPONSE` – odczytanie metadanych pliku (zawierających m.in. długość rekordu)
4. `READ RECORD` – odczytanie rekordu z `EF ADN`
5. `GET RESPONSE` – odczytanie zawartości odczytanego rekordu

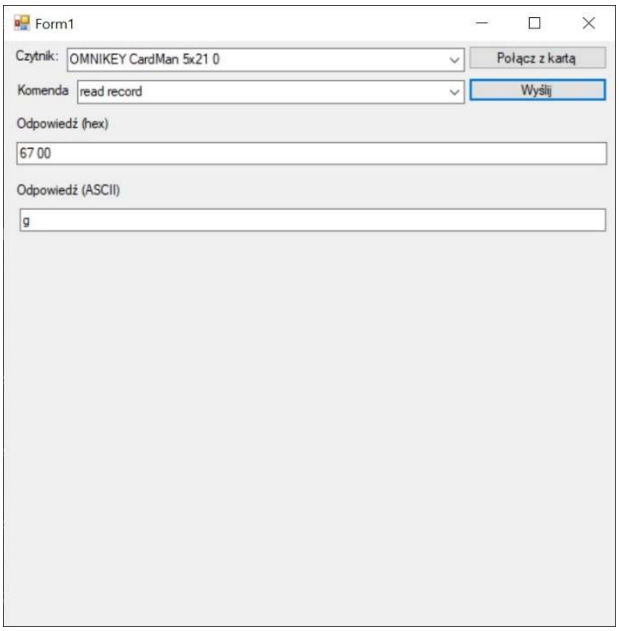
Komendy wydawane miały być przy pomocy metody *sendCommand*, a ich wyniki wyświetlane na GUI przy pomocy metody *printToRespondeBox*. Z powodzeniem udało się wykonać komendę 1 (rys. 4) oraz 2 (rys. 5). Niestety mimo licznych prób i zmian w strukturze CPDU nie udało się wykonać komend 3-5 (rys. 6). Za każdym razem słowa statusowe odpowiadających im RPDU wskazywały na wystąpienie błędu w podanej długości spodziewanej odpowiedzi (`0x6700`).



Rysunek 4: Wynik wysłania komendy SELECT FILE TELECOM



Rysunek 5: Wynik wysłania komendy SELECT FILE ADN



Rysunek 6: Wynik wysłania komendy READ RECORD

3.2.6 Dekodowanie wiadomości ATR

W związku z nieudaną implementacją odczytu listy kontaktów postanowiono spróbować zdekodować zawartość sekwencji *ATR*. Dokonuje tego metoda *parseAtr* (listing 6). Ze względu na zakończenie się laboratorium udało się odkodować jedynie szczątkowe informacje z tejże sekwencji. Wyniki dekodowania można zobaczyć na rysunku 3.

Listing 6: Metoda dekodująca sekwencję ATR

```
void parseAtr(byte[] atr)
{
      string atrStr = "";
      if (atr[0] == 0x3b)
```

```
            atrStr += "Direct Convention";
      else if (atr[0] == 0x3f)
            atrStr += "Inverse Convention";
      atrStr += ", ";

      atrStr += "Protokół T" + (atr[3] % 16).ToString() + ", ";

      int historical_bytes = atr[1] % 16;
      atrStr += (atr[1]%16).ToString() + " znaków historycznych: ";
      for (int i = 7; i < 7 + historical_bytes; i++)
            atrStr += atr[i] + " ";

      responseBoxAscii.Text = atrStr;
}
```

4 Protokół z laboratorium

LABORATORIUM 25.01.2024 Waligórski, Kotela

Zad 1

Przetestowano połączenie i sprawdzono zawartość karty przy pomocy programu SIMCard Manager.

Zad 2

Zaimplementowano aplikację, która:

- wyświetla nazwę podłączonego do komputera czytnika
- umożliwia wybór czytnika
- umożliwia wysłanie komend (w formacie HEX) do czytnika i wyświetla odpowiedź
- umożliwia odczytanie części danych z wiadomości ATR (konwencja bitów, protokół, liczba bajtów historycznych, bajty historyczne)
- umożliwia wejście do DF telecom oraz MF

25.01.2024

5 Podsumowanie

Niestety nie udało się zaimplementować wszystkich zakładanych funkcjonalności. Mimo wszystko ćwiczenie pozwoliło jednak na zapoznanie się z działanie kart mikroprocesorowych. Umożliwiło ono również na poznanie w praktyce sposobu komunikacji z tego typu urządzeniem przy pomocy protokołu APDU.

6 Źródła

[1] Dokumentacja APDU dostępna pod adresem (stan na styczeń 2024): ISO7816 part 4 section 6 with Basic Interindustry Commands (APDU level) (cardwerk.com)

[2] Repozytorium *GitHub* z kodem użytej biblioteki *pcsc-sharp* (stan na styczeń 2024): https://github.com/danm-de/pcsc-sharp