Przemysłowe Sieci Komputerowe

Wprowadzenie do sieci przemysłowych
Protokół komunikacyjny Modbus

Paweł Strączyński

p.straczynski@tu.kielce.pl

Katedra Urządzeń Elektrycznych i Automatyki

Politechnika Świętokrzyska

Protokoły komunikacji w przemyśle

Obecnie w środowisku przemysłowym wykorzystywanych jest wiele protokołów określających zasady wymiany informacji miedzy urządzeniami. Konieczność stosowania skutecznych systemów wymiany informacji jest następstwem zdecentralizowanych systemów sterowania.

Aktualnie powszechnie używane w przemyśle urządzenia takie jak sterowniki PLC, panele HMI, falowniki, sterowniki serwomechanizmów itp. wymieniają między sobą informacje w oparciu o komunikację określoną wedle danego protokołu komunikacji.

Specyficzne wymagania systemów kontrolno-pomiarowych w przemyśle (niezawodność, szybka, częstą wymiana stosunkowo małych porcji informacji) spowodowały, że ze środowiska tego wyrosły różnego rodzaju protokoły które urosły do rangi przemysłowych standardów.

Protokoły komunikacji w przemyśle

Wśród dużej ilości protokołów komunikacyjnych wyróżnić można te oparte na Ethernecie jak i wykorzystujące komunikację szeregową w oparciu o standardy RS-422 oraz RS-485.
W oparciu o sieć Ethernet pracują m.in. bardzo popularne w przemyśle protokoły takie jak:

- Profinet,
- Modbus
- TCP,
- EtherCAT,
- Powerlink,
- DeviceNET,
- SERCOS III.

Do najbardziej popularnych protokołów przemysłowych opartych o komunikację szeregową należą:

- Profibus DP,
- Modbus RTU,
- CanOpen,
- MPI.

Protokoły komunikacji w przemyśle

Protokół Modbus stworzony został w 1979 roku przez firmę Modicon i pierwotnie dedykowany był do komunikacji między sterownikami PLC tego producenta.

Jego niezawodność i prostota sprawiły że jest on obecnie w automatyce uznanym standardem i jednym z najchętniej stosowanych protokołów wymiany informacji.

Uznanie zyskał ze względu na prostą zasadę wymiany informacji (*Master-Slave*), wbudowany system potwierdzania komunikatów (Zapytanie-Odpowiedź) oraz kontrole poprawności przesyłanych danych.

Wyróżnia się wersje protokołu oparte o łącze szeregowe (Modbus RTU oraz Modbus ASCII) oraz wersję protokołu opartą na Ethernecie - Modbus TCP.
Wszystkie odmiany tego protokołu mają wspólne funkcję i rodzaj organizacji pamięci. Różnią się nieznacznie budową ramek.

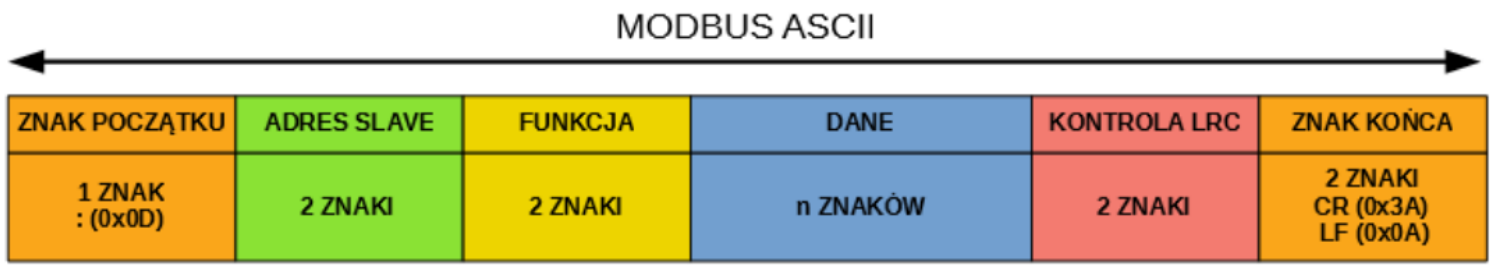
Protokół Modbus

Struktura ramek komunikacyjnych obu szeregowych odmian protokołu (Modbus RTU oraz Modbus ASCII) jest taka sama.

Składa się z:

- pola adresowego,
- pola danych,
- kontroli błędów
- oraz znaczników początku i końca ramki.

Różnice widoczne są w samym sposobie przesyłania tych informacji.



Protokół Modbus ASCII

Modbus ASCII to rodzaj protokołu w którym informacje przesyłane są w postaci znaków ASCII - dokładnie każdy bajt informacyjny to dwa znaki ASCII.

Protokół dopuszcza stosowanie dużego odstępu czasowego pomiędzy znakami - nawet do 1 sekundy.

Ramka komunikacyjna zawiera jasno zdefiniowane znaczniki początku i końca:

- zaczyna się znakiem dwukropka : (0x3A),
- kończy się znakami (Carriage Return - 0x0D) oraz LF (Line Feed - 0x0A).

Poprawność przesyłania ramki Modbus ASCII badana jest z wykorzystaniem kodu LRC (*Longitudinal Redundancy Check*).

Wadą transmisji w trybie ASCII jest nadmiarowość danych koniecznych do przesłania tej samej informacji względem trybu RTU.

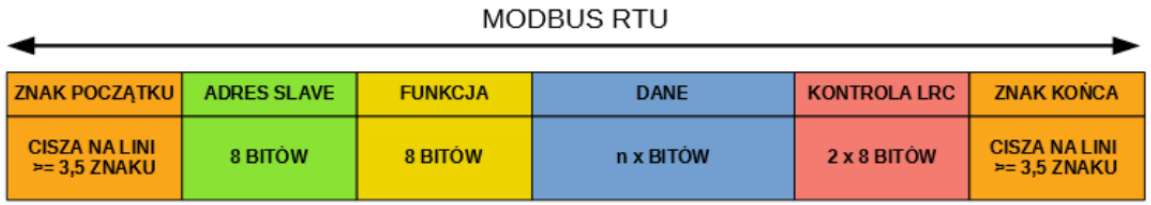
Protokół Modbus RTU

W protokole Modbus RTU informacje przesyłane są w postaci binarnej.

Ramki rozpoczyna się zwłoką czasową co najmniej 3,5 razy dłuższą od czasu trwania pojedynczego znaku.
Przerwy pomiędzy nadawaniem kolejnych znaków nie mogą być dłuższe niż 1,5 czasu trwania każdego z nich znaku.

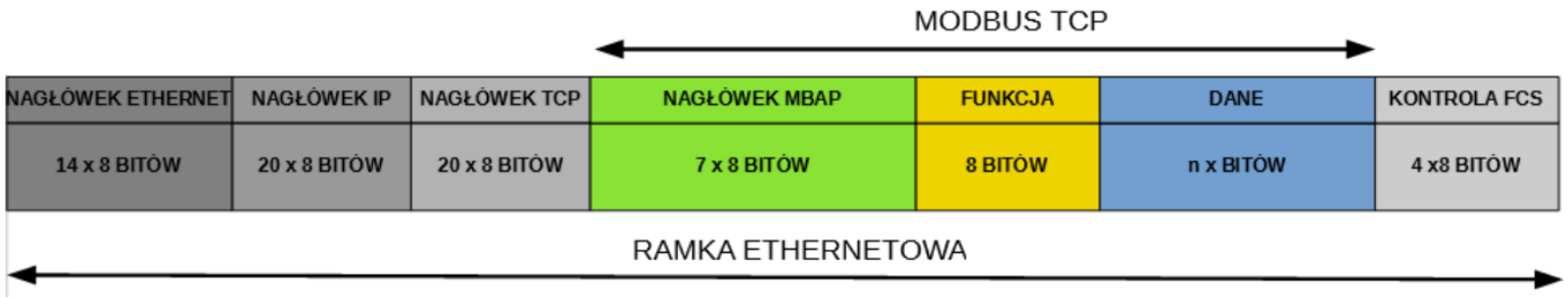
Do weryfikacji poprawności przesyłanych informacji wykorzystywana jest suma kontrolna CRC (*Cyclic Redundancy Check*) - 16-bitowe słowo, przesyłane w postaci dwóch bajtów na końcu ramki.

W przypadku obu odmian protokołu słowo kontrolne jest wyliczane przez urządzenie nadawcze i odbiorcze oraz porównywane. Ewentualne rozbieżności świadczą o występujących przekłamaniach w transmitowanych danych.



Protokół Modbus TCP

W przypadku protokołu Modbus TCP ramka protokołu jest osadzona w standardowej ramce ethernetowej.



Rodzaje transakcji

Komunikacja w ramach protokołu Modbus zawsze inicjowana jest przez urządzenie typu Master. Transakcje można podzielić na:

- transakcja typu zapytanie - odpowiedź (Unicast),
- transakcja typu rozgłoszenie (Broadcast).

W transakcji typu zapytanie-odpowiedź urządzenie typu Master łączy się z konkretnym urządzeniem typu Slave.
W przypadku poleceń dotyczących odczytu stanu bitów lub rejestrów w odpowiedzi Slave odsyła odpowiednie informacje.

W przypadku wysłania przez urządzenie Master polecenia zapisu do rejestrów, Slave po wykonaniu operacji jako potwierdzenie odsyła ramkę do urządzenia typu Master.

Przy zapisie większej liczby informacji jest to ramka skrócona zawierająca ilość zapisywanych rejestrów oraz adres pierwszego z nich.

Transakcje typu broadcast

Drugi typ transakcji, a więc transakcja typu rozgłoszeniowego adresowana jest do wszystkich urządzeń
na linii (zarezerwowanym adresem rozgłoszeniowym jest 0).

Slave'y po wykonaniu poleceń otrzymanych przez Master'a nie wysyłają ramki zwrotnej.

Funkcje i typy obszarów pamięci

Wymiana danych w ramach protokołu odbywa się według ściśle zdefiniowanych funkcji. Te najczęściej stosowane przedstawiono w tabeli poniżej. Odnoszą się one bezpośrednio do odczytu i zapisu jednego lub wielu obszarów pamięci danego typu.

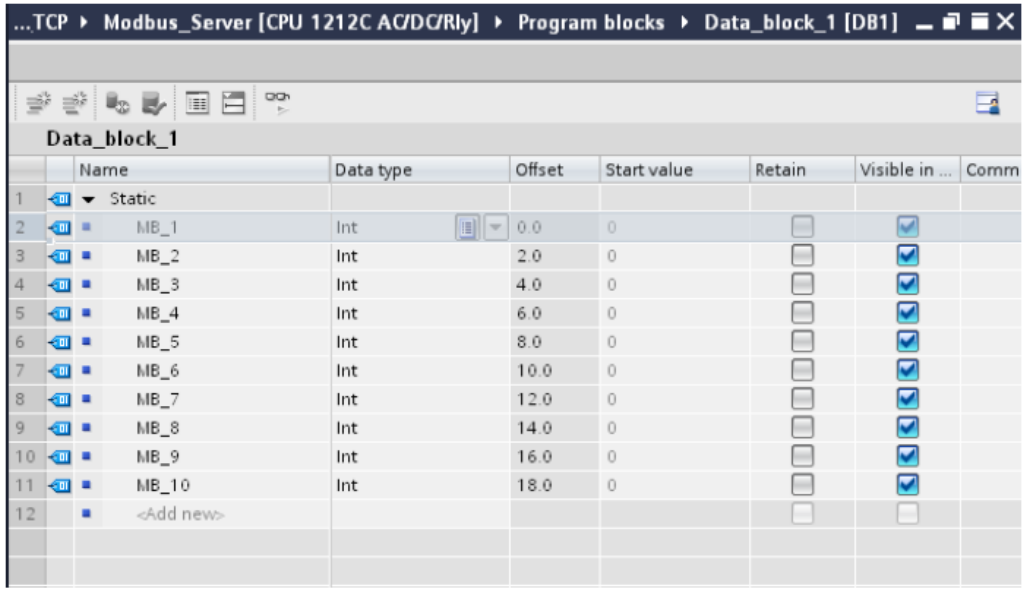
Kod funkcji	Rodzaj operacji
1	Odczyt wyjść binarnych *Read Coils*
2	Odczyt wejść binarnych *Read Discrete Inputs*
3	Odczyt n rejestrów wyjściowych - *Read Holding Register*
4	Odczyt n rejestrów wejściowych - *Read Input Register*
5	Zapis pojedynczego wyjścia binarnego *Write Single Coil*
6	Zapis pojedynczego rejestru wyjściowego - *Write Single Register*
7	Odczyt statusu - *Read Exception Status*
8	Test diagnostyczny - *Diagnostics*
15	Zapis n bitów - *Write Multiple Coils*
16	Zapis n rejestrów wyjściowych - *Write Multiple Register*

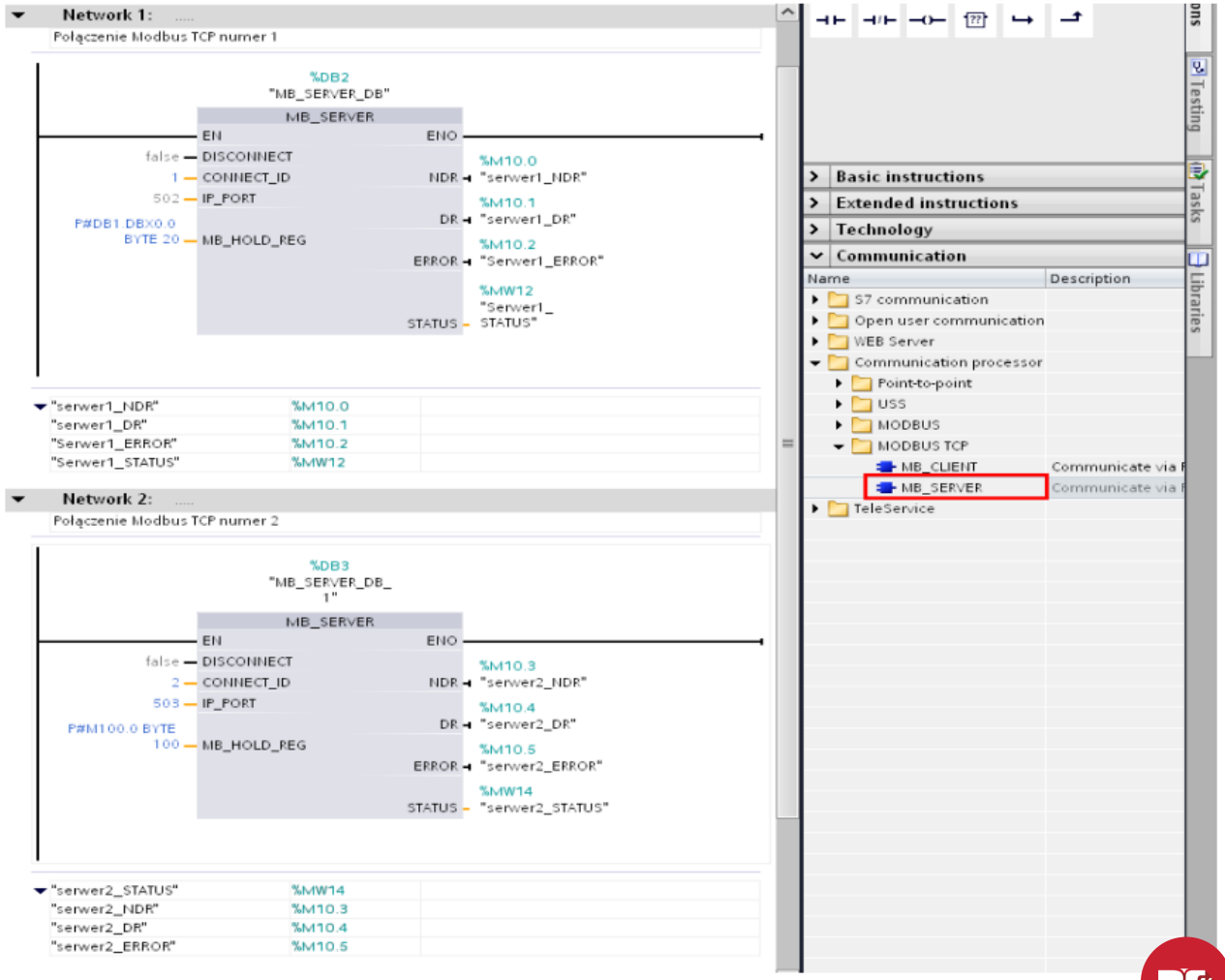
Funkcje i typy obszarów pamięci

Wymiana danych w ramach protokołu odbywa się według ściśle zdefiniowanych funkcji.
Te najczęściej stosowane przedstawiono w tabeli poniżej. Odnoszą się one bezpośrednio do odczytu i zapisu jednego lub wielu obszarów pamięci danego typu.

Typ zmiennej	Rodzaj	Dostęp	Zastosowanie
Discretes Inputs	1-bit	Odczyt	Dwustanowe wejście
Coils	1-bit	Odczyt/Zapis	Dwustanowe wyjście
Input Register	16-bitowe słowo	Odczyt	Rejestr wejściowy
Holding Register	16-bitowe słowo	Odczyt/Zapis	Rejestr wyjściowy

Serwer Modbus TCP w sterowniku S7-1200

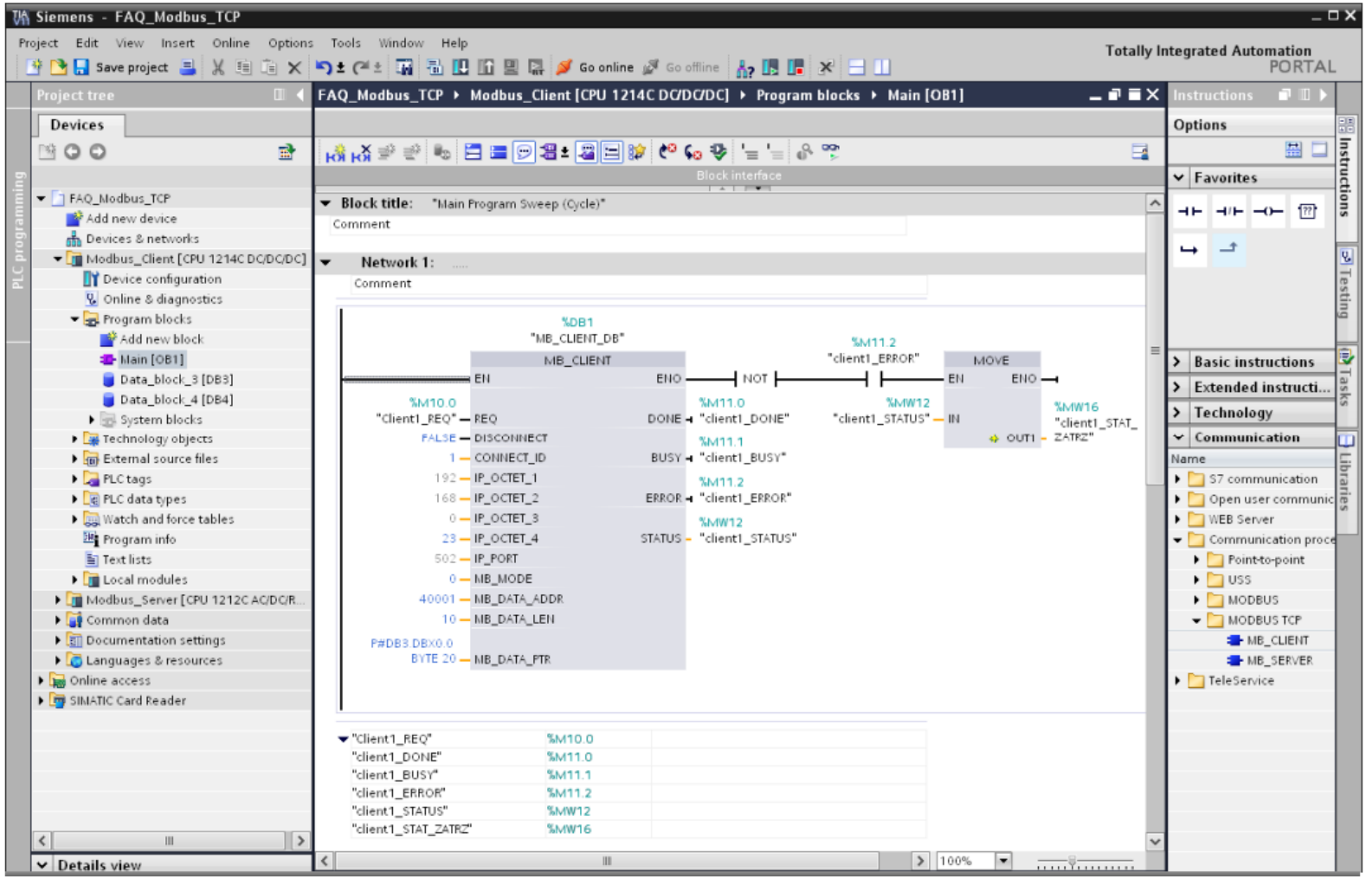




Serwer Modbus TCP w sterowniku S7-1200

Parametr	Typ danych	Opis
DISCONNECT	Bool	„MB_SERVER" próbuje nawiązać pasywne połączenie z partnerem. Oznacza to, że serwer jest w trybie pasywnym i nasłuchuje wywołania. Jeżeli „DISCONNECT" = 0 i połączenie jeszcze nie jest nawiązane, wtedy nowe połączenie może zostać zainicjowane Jeżeli „DISCONNECT" = 1 i połączenie jest nawiązane, wtedy połączenie jest przerwane. Pozwala to programowi kontrolować połączenie po jego nawiązaniu. Gdy parametr ma wartość „1", nie można zainicjować połączenia
CONNECT_ID	UInt	Parametr ten identyfikuje unikalne połączenia wewnątrz PLC. Każdy unikalny blok danych funkcji „MB_CLIENT" lub „MB_SERVER" musi posiadać unikalny numer ID połączenia
IP_PORT	UInt	Wartość domyślna = 502: Numer portu IP identyfikuje port IP który będzie monitorowany w celu wykrycia zapytania od klienta Modbusa. Poniższe numery TCP portu nie są dozwolone dla pasywnego połączenia „MB_SERVER":20, 21, 25, 80, 102, 123, 5001, 34962 oraz 34964
MB_HOLD_REG	Variant	Wskaźnik do rejestru pamięci serwera: Rejestr pamięci musi być blokiem danych o standardowym dostępie lub obszarem pamięci M. Ten obszar pamięci wykorzystywany jest do przechowywania danych, do których będzie miał dostęp klient Modbusa używając funkcji 3 (read), 6 (write) oraz 16 (write)

Klient Modbus TCP w sterowniku S7-1200



Kody błędów

MB_SERVER

8187 – Nieprawidłowy wskaźnik dla parametru „MB_HOLD_REG”: obszar pamięci jest zbyt mały

818C - Parametr „DATA_PTR” wskazuje na zoptymalizowany blok danych (musi być standardowy blok DB lub obszar pamięci M)

8381 – Nieobsługiwany kod funkcji

8382 – Błąd długości danych

8383 – Błąd adresu danych lub próba dostępu poza granice określone przez „MB”HOLD_REG”

8384 – Błąd wartości danych

8385 – Nieobsługiwana wartość kodu diagnostycznego (kod funkcji 08).

MB_SLAVE

80C8 – Serwer nie odpowiada w określonym czasie

8188 – Nieprawidłowa wartość parametru “MODE”

8189 – Nieprawidłowa wartość parametru “DATA_ADDR”

818A – Nieprawidłowa wartość parametru „DATA_LEN”

818B – Nieprawidłowy wskaźnik obszaru pamięci „DATA_PTR”. Błąd może być spowodowany niepoprawną kombinacją parametrów „MB_DATA_ADDR” oraz „MB_DATA_LEN”

818C – Parametr „DATA_PTR” wskazuje na zoptymalizowany blok danych (musi być standardowy blok DB lub obszar pamięci M)

8200 – Port jest zajęty przetwarzaniem innego żądania połączenia

8380 – Otrzymana ramka Modbusa jest zniekształcona lub otrzymano zbyt dużą ilość bajtów

8387 – Przypisany numer ID połączenia jest różny od ID z poprzedniego zapytania. Może być tylko jeden numer ID połączenia użyty wewnątrz przypisanego do „MB_CLIENT” bloku daych DB

8388 – Serwer Modbus zwrócił ilość danych inną niż był odpytany. Tyczy się tylko funkcji 15 i 16.

Slave Modbus RTU w sterowniku FATEK

W sterownikach Fatek porty komunikacyjne domyślnie ustawione są do pracy w protokole Fatek. Aby sterownik Fatek pracował jako slave protokołu Modbus należy zmienić protokół na danym porcie (możliwość zmiany protokołu nie dotyczy portu 0, który może działać tylko w protokole Fatek).

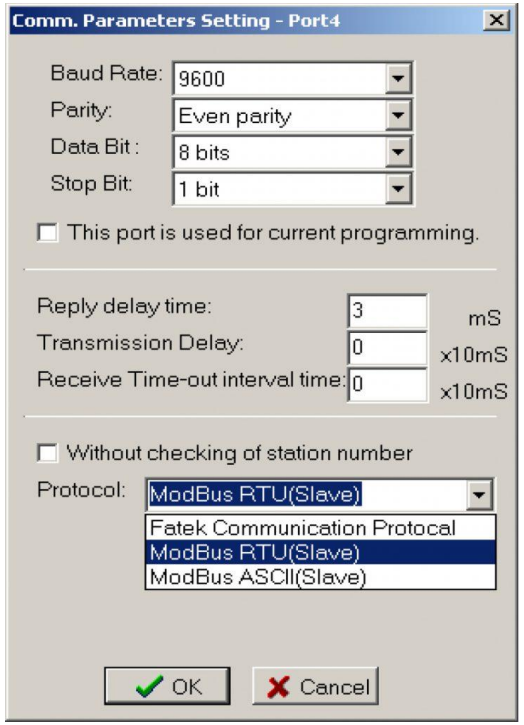
Adres Modbus	Rodzaj pamięci Modbus	Adres FATEK	Opis
0001 - 0256	Coil	Y0 – Y255	Wyjścia dyskretne
1001 – 1256		X0 – X255	Wejścia dyskretne
2001 - 4002		M0 – M2001	Markery
6001 - 7000		S0 – S999	Znaczniki kroku
9001 - 9756		T0-T255	Timery
9501 - 9756		C0 – C255	Liczniki
0001 – 4168	Holding Register		Rejestry R
5001 - 5999			Rejestry R
6001 - 8999			Rejestry D
9001 - 9256			ET w timerze
9501 -9700			CV w liczniku
9701 – 9812			CV w liczniku

Zmiany portu dokonuje się w oprogramowaniu WinProladder wybierając odpowiednio:

```
PLC->Setting-> Port Parameter
```

lub

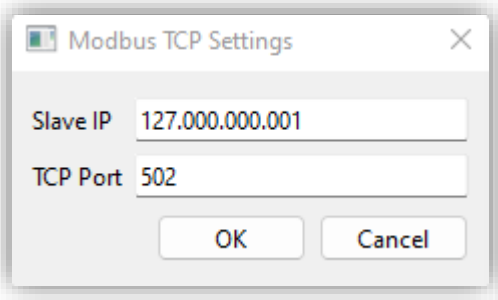
```
PLC->Setting-> Protocol
```

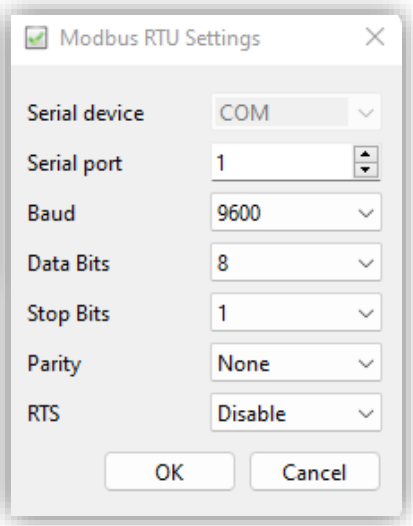


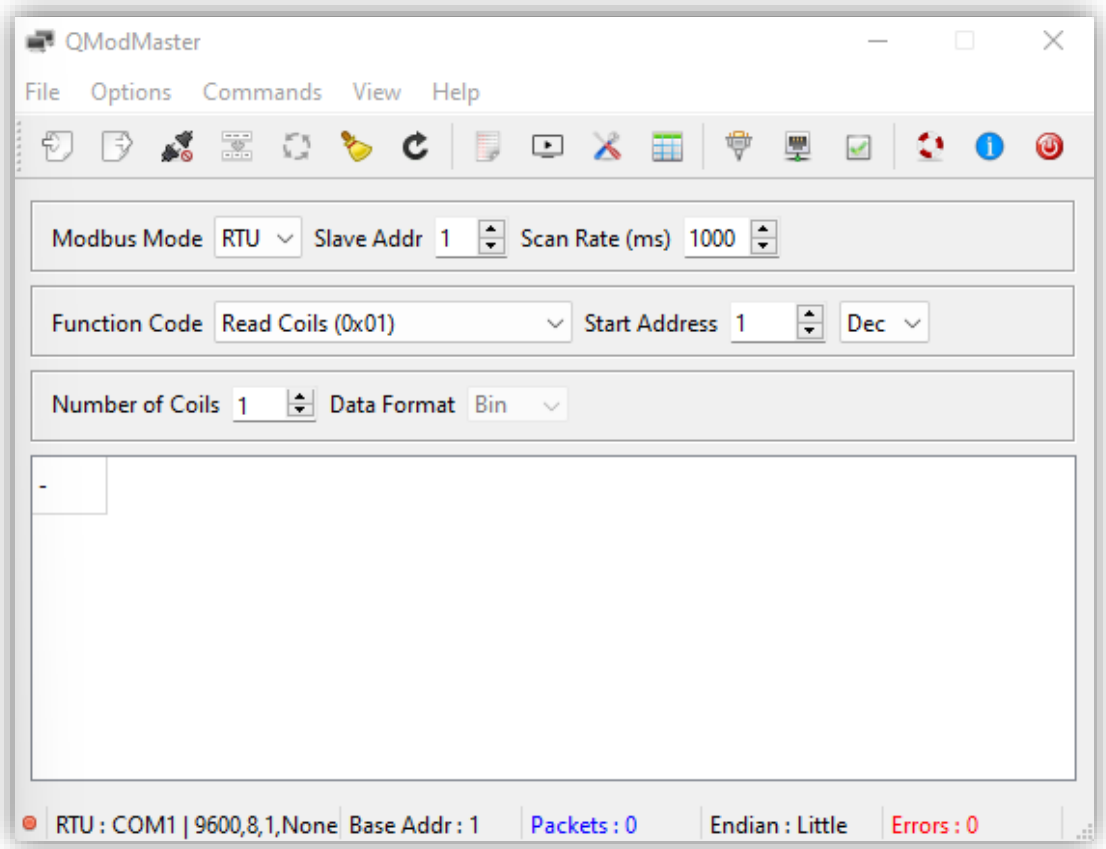
Serwer protokołu Modbus dla systemu Windows

QModMaster to darmowa, oparta na Qt implementacja mastera protokołu Modbus . Graficzny interfejs użytkownika umożliwia łatwą komunikację z urządzeniami podrzędnymi Modbus RTU i TCP.

QModMaster zawiera również monitor do badania całego ruchu na magistrali.







Modbus dla Arduino

Biblioteka implementuje protokół Modbus dla dwóch różnych mediów transmisyjnych:

- komunikacja szeregowa przez RS485 z RTU (Remote Terminal Unit)
- komunikacja Ethernet i WiFi z protokołem TCP.

Istnieje kilka różnic w interfejsach API w zależności od medium transmisyjnego, jednak większość funkcji jest taka sama.

https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/arduinomodbus/

Modbus Client

- client.coilRead()
- client.discreteInputRead()
- client.holdingRegisterRead()
- client.inputRegisterRead()
- client.coilWrite()
- client.holdingRegisterWrite()
- client.registerMaskWrite()
- client.beginTransmission()
- client.write()
- client.endTransmission()
- client.requestFrom()
- client.available()
- client.read()
- client.lastError()
- client.end()

ModbusRTUClient Class

- modbusRTUClient.begin()

ModbusTCPClient Class

- ModbusTCPClient()
- modbusTCPClient.begin()
- modbusTCPClient.connected()
- modbusTCPClient.stop()

ModbusServer Class

- modbusServer.configureCoils()
- modbusServer.configureDiscreteInputs()
- modbusServer.configureHoldingRegisters()
- modbusServer.configureInputRegisters()
- modbusServer.coilRead()
- modbusServer.discreteInputRead()
- modbusServer.holdingRegisterRead()
- modbusServer.inputRegisterRead()
- modbusServer.coilWrite()
- modbusServer.holdingRegisterWrite()
- modbusServer.registerMaskWrite()
- modbusServer.discreteInputWrite()
- modbusServer.writeDiscreteInputs()
- modbusServer.inputRegisterWrite()
- modbusServer.writeInputRegisters()
- modbusServer.poll()
- modbusServer.end()

Modbus dla Arduino - przykłady

ModbusRTUClientToggle | Arduino 1.8.19 (Windows Store 1.8.57.0)

Plik Edytuj Szkic Narzędzia Pomoc

ModbusRTUClientToggle

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial);

  Serial.println("Modbus RTU Client Toggle");

  // start the Modbus RTU client
  if (!ModbusRTUClient.begin(9600)) {
    Serial.println("Failed to start Modbus RTU Client!");
    while (1);
  }
}

void loop() {
  // for (slave) id 1: write the value of 0x01, to the coil at address 0x00
  if (!ModbusRTUClient.coilWrite(1, 0x00, 0x01)) {
    Serial.print("Failed to write coil! ");
    Serial.println(ModbusRTUClient.lastError());
  }

  // wait for 1 second
  delay(1000);

  // for (slave) id 1: write the value of 0x00, to the coil at address 0x00
  if (!ModbusRTUClient.coilWrite(1, 0x00, 0x00)) {
    Serial.print("Failed to write coil! ");
    Serial.println(ModbusRTUClient.lastError());
  }

  // wait for 1 second
  delay(1000);
}
```

ModbusRTUServerLED | Arduino 1.8.19 (Windows Store 1.8.57.0)

Plik Edytuj Szkic Narzędzia Pomoc

ModbusRTUServerLED

```
#include <ArduinoRS485.h> // ArduinoModbus depends on the ArduinoRS485 library
#include <ArduinoModbus.h>

const int ledPin = LED_BUILTIN;

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  Serial.println("Modbus RTU Server LED");

  // start the Modbus RTU server, with (slave) id 1
  if (!ModbusRTUServer.begin(1, 9600)) {
    Serial.println("Failed to start Modbus RTU Server!");
    while (1);
  }

  // configure the LED
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  digitalWrite(ledPin, LOW);

  // configure a single coil at address 0x00
  ModbusRTUServer.configureCoils(0x00, 1);
}

void loop() {
  // poll for Modbus RTU requests
  ModbusRTUServer.poll();

  // read the current value of the coil
  int coilValue = ModbusRTUServer.coilRead(0x00);

  if (coilValue) {
    // coil value set, turn LED on
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
  } else {
    // coil value clear, turn LED off
    digitalWrite(ledPin, LOW);
  }
}
```

Pymodbus – Modbus dla języka Python

```
from pymodbus.client import ModbusTcpClient

client = ModbusTcpClient('127.0.0.1')
client.write_coil(1, True)
result = client.read_coils(1,1)
print(result.bits[0])
client.close()
```

https://pymodbus.readthedocs.io/en/latest/