

Andrzej Uznański*

Wybrane zagadnienia teletransmisji danych w pomiarach RTK GPS**

1. Wstęp

Komunikowanie się ze sobą różnych urządzeń wymaga odpowiedniego systemu interfejsu złożonego z elementów mechanicznych, elektrycznych i funkcjonalnych niezależnych od łączonych urządzeń [1]. Jest to pewien obszar, istniejący fizycznie, wzajemnego oddziaływania komunikujących się urządzeń, którego integralną częścią jest oprogramowanie realizujące połączenie.

Łącze transmisji danych składa się z urządzenia komunikacyjnego dla danych DCE (*Data Communication Equipment*) oraz z urządzenia końcowego DTE (*Data Terminal Equipment*), np. komputera, odbiornika GPS, dla którego są przeznaczone transmitowane dane. Pojęciem DCE określane są urządzenia umożliwiające fizyczne połączenie ze sobą DTE i służące do transmisji danych, czyli modemy i karty interfejsów. DCE dostarczają także sygnałów synchronizujących urządzenia DCE i DTE.

W pomiarach RTK (*Real Time Kinematic*) GPS jest wymóg, aby odbiornik satelitalny komunikował się z urządzeniem dostarczającym mu dane ze stacji referencyjnej, którym może być modem radiowy lub telefon komórkowy. Możliwe jest także podłączenie do odbiornika satelitalnego innego typu urządzeń (np. kamery fotogrametrycznej, dalmierza laserowego, georadaru itp.) poszerzających spektrum możliwych zastosowań pomiarów RTK GPS. Aktualnie komunikacja odbiornika GPS z urządzeniami zewnętrznymi odbywa się za pośrednictwem szeregowej transmisji asynchronicznej, zazwyczaj poprzez port RS232C.

W opracowaniu przedstawione zostały pojęcia związane z wybranymi zagadnieniami teletransmisji danych w pomiarach RTK GPS, zarówno te klasyczne oparte na standardzie RS232C, jak i najnowsze związane ze strumieniowym przesyłaniem danych. Zamieszczone informacje pozwalają na zrozumienie sposobów i zasad realizacji połączeń teletransmisyjnych za pomocą modemów.

* Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Praca wykonana w ramach badań statutowych, umowa nr 11.11.150.312

2. Typy, metody i tryby transmisji danych

Istnieją dwa typy transmisji danych. Transmisja szeregową polegającą na sekwencyjnym przesyłaniu kolejnych bitów danych. W transmisji równoległej przesyłana jest równocześnie większa liczba bitów informacji, zazwyczaj jeden bajt (8 bitów).

Dane mogą być przesyłane metodą:

- transmisji asynchronicznej, w której dane są nadawane porcjami, z przerwami na indywidualną synchronizację poszczególnych porcji danych, przy czym dane mogą pojawić się w dowolnym momencie i muszą natychmiast być transmitowane do odbiorcy;
- transmisji synchronicznej, w której dzięki impulsowi taktującemu utrzymywane jest stałe tempo przesyłania danych, a łącze jest efektywniej wykorzystane, gdyż nie ma żadnych przerw.

Transmisja danych może odbywać się w jednym z trzech trybów [1]:

- 1) simpleks, w którym jedno z komunikujących się urządzeń końcowych łącza transmitującego dane (terminal) przesyła informacje, a drugie je odbiera, samo nie transmitując;
- 2) półdupleks, polegającym na niejednoczesnej transmisji danych przez oba komunikujące się terminale, które naprzemiennie mogą nadawać i odbierać dane transmitowane pomiędzy sobą;
- 3) dupleks, który jest rodzajem transmisji danych umożliwiającym jednoczesne przesyłanie i odbieranie informacji przez terminale.

3. Format transmisji asynchronicznej

Dane są transmitowane w postaci impulsów elektrycznych. Bit, jako najmniejsza jednostka logiczna informacji jest pojęciem abstrakcyjnym. Fizycznie jest to napięcie, którego wielkość nadaje bitowi jego wartość („0” lub „1”). Ponieważ w transmisji asynchronicznej dane są wysyłane sekwencyjnie, konieczne jest przygotowanie urządzenia odbiorczego na przyjęcie sygnału zawierającego dane. Z tego powodu należy obok sygnałów reprezentujących (kodujących) dane wyróżnić sygnały (bity) startu oraz sygnały (bity) stopu, rozpoczynające i kończące przesyłanie porcji informacji. Pomimo że transmisja jest asynchroniczna, obydwie komunikujące się terminale muszą pracować z jednakową szybkością, podawaną w bitach/sekundę (bps).

Należy zaznaczyć, że w transmisji danych rozróżnia się dwa pojęcia związane z szybkością przesyłania danych:

- 1) szybkość modulacji, czyli wynegocjowana przez modemy szybkość transmisji danych;

- 2) szybkość interfejsu, czyli szybkość transmisji danych pomiędzy DCE i DTE, która dzięki buforowaniu może być stała i niezależna od szybkości wynegocjowanej przez modemy.

Aby zmniejszyć błędy, podczas transmisji danych, można do przesyłanych bitów danych dodać informację dodatkową w postaci bitu kontrolnego. Bit ten, zwany bitem parzystości, stanowi dopełnienie liczby występujących w porcji danych. Są cztery rodzaje kontroli parzystości. W kontrolach parzystości (*Even*) oraz nieparzystości (*Odd*) bit parzystości przyjmuje taką wartość, aby sumaryczna liczba jedynek w transmitowanej porcji danych była odpowiednio parzysta lub nieparzysta. W kontrolach typu Mark (*High*) oraz Space (*Low*) bit parzystości przyjmuje zawsze binarną wartość odpowiednio „1” oraz „0”. Często istnieje możliwość wyłączenia kontroli parzystości i dysponowania wszystkimi bitami na potrzeby transmisji danych.

Innym sposobem ograniczania błędów w transmisji danych jest ich korekcja. W modemach radiowych, a także systemach satelitarnych, stosowana jest korekcja błędów oparta na metodzie FEC (*Forward Error Correction*). W metodzie FEC wykorzystywany jest dekodery wprowadzający do łańcucha danych przed jego transmisją łańcuchy bitów kontrolnych. Zwiększana jest w ten sposób liczba transmitowanych bitów o około 30%, ale nie zachodzi dzięki temu konieczność retransmisji danych. Metoda stosowana jest więc we wszystkich rozwiązaniach (np. systemy satelitarne) posiadających wystarczająco szerokie pasmo transmisji danych i wymagających minimalnych opóźnień w ich dostarczaniu do użytkownika. Wszystkie komunikujące się modemy radiowe muszą mieć ustawiony taki sam status funkcji korekcji błędów.

W praktyce może się zdarzyć sytuacja, że terminal odbiorczy nie jest w stanie nadążyć z przetwarzaniem napływających danych. W tym celu wprowadzono sposoby sterowania przepływem danych (*flow control*), które mogą być realizowane programowo, poprzez wysłanie określonego znaku, np. CTRL-S dla wstrzymania transmisji i CTRL-Q dla jej wznowienia, lub sprzętowo, co wymaga dodatkowych linii sygnałowych w łączy transmisyjnym.

4. Sygnały w standardzie RS232C

Standard asynchronicznej transmisji określanej nazwą EIA (*Electronic Industries Association*) RS232C (*Recommended Standard*) w USA, natomiast w Europie ITU-T (*International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector*) V.24. Pełna nazwa standardu brzmi *Interface Between DTE and DCE Employing Serial Binary Data Interchange*. Złącze w standardzie RS232C może występować w dwóch wersjach: 25-pinowej (DB-25) oraz 9-pinowej (DB-9). W złączy DB-25 większość linii

sygnałowych wykorzystuje się jedynie do transmisji synchronicznej. Obecnie stosowany jest standard IBM z 9 sygnałami.

W wykazie sygnałów wykorzystywanych w standardzie RS232C w nawiasach kwadratowych podano numer pinu w złączu typu DB-25 i DB-9:

- linia PG (*Protective Ground*) [1, brak] – linia zabezpieczająca, łączona z obudową urządzenia, tzw. masa ochronna;
- linia TxD (*Transmitted Data*) [2, 3] – odbiór danych do wysłania przez DCE, dane przesyłane z terminala do modemu, dane wysyłane;
- linia RxD (*Received Data*) [3, 2] – dane przesyłane z modemu do terminala, odbiór danych;
- linia RTS (*Request To Send*) [4, 7] – sprzętowe sterowanie przepływem danych;
- linia CTS (*Clear To Send*) [5, 8] – sprzętowe sterowanie przepływem danych;
- linia DSR (*Data Set Ready*) [6, 6] – sygnał informujący o włączeniu modemu, odbiornik gotowy do odbioru danych wysłanych np. przez odbiornik GPS;
- linia SG (*Signal Ground*) [7, 5] – linia odniesienia dla wszystkich pozostałych sygnałów, tzw. masa sygnałowa;
- linia DCD (*Data Carrier Detect*) [8, 1] – wykrycie fali nośnej, nawiązanie łączności przez modemy;
- linia DTR (*Data Terminal Ready*) [20, 4] – gotowość terminala do odbioru/nadawania danych;
- linia RI (*Ring Indicator*) [22, 9] – wskaźnik wywołania (sygnał dzwonięcia).

W przypadku półdupleksowej transmisji danych, stosowanej np. w modemach firmy Satel-Oy, procedura sterowania nią między urządzeniami DTE_A i DTE_B przebiega w następujący sposób: DTE_A uaktywnia linię RTS, DCE_A sprawdza stan linii DCD, czy łącze nie jest zajęte, czyli czy DCE_B nie transmituje danych. Jeśli łącze nie jest zajęte, to DCE_A uaktywnia sygnał CTS, zezwalając na wysłanie danych linią TxD, DCE_B kieruje dane na linię RxD w DTE_B. Po wysłaniu wszystkich danych DTE_A wyłącza RTS, co powoduje wyłączenie DCD w DCE_B i CTS w DCE_A. Tryb półdupleksowy w modemach radiowych wynika głównie z braku możliwości nadawania danych na jednej, a odbierania ich na drugiej częstotliwości.

5. Modem

Urządzeniem przeznaczonym do transmisji danych jest modem. Pierwszym standardowo stosowanym rozwiązaniem do transmisji danych w pomiarach RTK GPS był modem radiowy (*modulator-demodulator*). Wykorzystując do transmisji danych telefon komórkowy, w praktyce też będziemy korzystali z wewnętrznego modemu telefonu. Zadaniem modemu jest zamiana danych cyfrowych na analogowe.

gowe sygnały elektryczne (modulacja) i na odwrót (demodulacja) tak, aby mogły być przesyłane i odbierane poprzez linię telefoniczną, łącze telewizji kablowej lub fale radiowe. Modulacją nazywamy proces konwersji prostokątnego sygnału cyfrowego na sinusoidalną falę nośną. Modulacja może być analogowa, impulsowa lub cyfrowa.

W przedstawianym obszarze zastosowań wykorzystywana jest modulacja cyfrowa, którą można podzielić na modulację:

- z kluczowaniem amplitudy ASK (*Amplitude Shift Keying*) oraz modulacji kwadraturowej polegającej na kombinacji modulacji amplitudy i fazy QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*);
- z kluczowaniem częstotliwości FSK (*Frequency-Shift Keying*) z odmianami: kluczowania wieloczęstotliwościowego MFSK (*Multiple FSK*), GFSK (*Gaussian FSK*), MSK (*Minimum Shift Keying*), GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*);
- z kluczowaniem fazy PSK (*Phase-Shift Keying*), z odmianami, m.in. binarnego kluczowania fazy BPSK, różnicowego kluczowania fazy DPSK, kombinacji modulacji QAM z nadmiarowym kodowaniem splotowym *Trellis-Coding TCM* (*Trellis-Coded Modulation*).

Zazwyczaj w procedurze połączenia modem rozpoczyna od najbardziej zaawansowanego sposobu modulacji, a gdy on się nie powiedzie, proponuje prostsze (*fallback procedure*).

Realizacja połączeń i transmisja danych zgodnie z parametrami użytkownika pomiędzy modemami wymaga programu komunikacyjnego. Standardem sposobu komunikacji różnych urządzeń DTE z modemami jest zbiór komend AT (*Attention*) Haeya. Każda komenda zaczyna się od przedrostka AT, z wyjątkiem sekwencji rozłączania i powtarzania ostatnio wydanego polecenia, przy czym należy zaznaczyć, że nie jest to ściśle określony standard i poszczególni producenci mogą stosować różniące się odmiany komend AT. Zazwyczaj podczas posługiwania się programem komunikacyjnym użytkownik korzysta z menu, a program sam dokonuje konwersji na komendy AT.

Istnieje możliwość połączenia dwóch DTE bez pośrednictwa DCE za pomocą tzw. pseudomodemu (*null modem*), który uzyskuje się, łącząc odpowiednio linie sygnałowe. W najprostszym przypadku, bez możliwości skorzystania z procedury *handshake* (pkt 6), należy połączyć linię sygnału RxD jednego terminala z linią sygnału TxD i *vice versa*, a ponadto konieczne jest jeszcze tylko połączenie linią SG. Linia sygnału RI nie jest w ogóle wykorzystywana w pseudomodemach.

6. Protokół transmisji

Transmisja danych wymaga określenia ścisłych reguł wykonywanych przez urządzenia automatycznie, a dotyczących nawiązania, przebiegu oraz zakończenia wymiany danych między urządzeniami lub programami (procesami), czyli proto-

kołu komunikacyjnego. Protokoły regulują zgodność formatów danych określających związku czasowe oraz zasady korekcji błędów podczas wymiany danych.

Klasyczny protokół oprócz właściwej transmisji danych składa się z:

- procedury powitalnej uzgodnienia możliwości połączenia pomiędzy urządzeniami (*handshake*), która polega na przesłaniu wzajemnej podstawowej informacji o łączących się urządzeniach, ich adresu, szybkości i rodzaju transmisji itp.;
- procedury analizy poprawności przekazu (np. sprawdzania sum kontrolnych) połączonej z procedurą pożegnania, żądaniem powtórzenia transmisji lub powrotem do procedury powitalnej.

W praktyce rozróżnia się protokoły sprzętowe i programowe. Przykładem protokołu sprzętowego może być takie przesyłanie danych, w którym nadajnik i odbiornik są połączone linią sterującą, znajdującą się poza linią danych. Stan linii sterującej określa rozpoczęcie, trwanie i zawieszenie transmisji. Programowy protokół XON/XOFF natomiast nie używa dodatkowej linii sterującej. Jej funkcję przyjmuje określona kombinacja znaków sterujących, zwana programową procedurą uzgodnienia (*handshake*).

7. Protokół Ntrip

Ntrip (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*) jest protokołem bazującym na wysokopoziomowym (aplikacyjnym) protokole HTTP/1.1 (*Hyper Text Transfer Protocol*) uzupełnionym o strumienie danych GNSS (*Global Navigation Satellite System*) w postaci korekcji różnicowych lub strumieni oryginalnych danych [3, 8]. Dane z Internetu mogą być odbierane za pośrednictwem sieci LAN (*Local Area Network*) lub bezprzewodowo przez *Mobile IP (Internet Protocol) Networks*. Transmisja bezprzewodowa może się odbywać z wykorzystaniem CSD, GPRS, EDGE, UMTS. Wykorzystanie HTTP jako warstwy protokołu aplikacji umożliwia transmitowanie danych przez port 80, dzięki czemu można uniknąć problemów z programami typu firewall i serwerami proxy sieci LAN. W przypadku *Mobile IP Networks* wykorzystywany będzie port 2101.

Z aspektów technicznych poruszanych w opracowaniu, w przypadku protokołu Ntrip istotne jest wykorzystywanie serwera mediów strumieniowych Icecast [4] fundacji Xiph.org.

Cechą techniki strumieniowej, umożliwiającą wyznaczanie pozycji w pomiarach satelitarnych, jest możliwość interpretowania danych po kolei w momencie ich odbioru. Nie jest więc konieczne przesłanie całego pliku, aby można było wykorzystać zawarte w nim dane. Bardzo istotnym problemem jest buforowanie danych, gdyż Internet nie został stworzony do transmisji danych w czasie rzeczywistym

i mogłoby się zdarzyć, że pakiet danych wysłany wcześniej dotrze do odbiornika sygnałów GPS dopiero po pakiecie wysłanym później.

W przypadku modemu zewnętrznego odbiór danych z Internetu odbywa się dwuetapowo: przewodowo przez port RS232, a następnie dane są transmitowane do odbiornika sygnałów GPS bezprzewodowo dzięki modemu podłączonemu do portu szeregowego. Konieczna jest instalacja oprogramowania *GNSS Internet Radio*, które w protokole Ntrip jest klasyfikowane jako *Ntrip Client*. Obsługuje ono komunikację w protokole HTTP oraz transmisję odebranych danych GNSS do portu RS232C.

Do telefonu komórkowego także jest konieczne specjalne oprogramowanie, np. *mobileNtrip* [5]. Aplikacja *mobileNtrip* pozwala na wykonywanie pomiarów RTK GPS z wykorzystaniem telefonu komórkowego w trybie single RTK lub VRS [9]. Jej działanie wymaga skonfigurowania w telefonie komórkowym dwóch sesji komunikacyjnych, przy czym każda z nich musi mieć zdefiniowaną nazwę punktu dostępu APN (*Access Point Name*), czyli nazwę serwera usługi danego operatora sieci telefonii komórkowej. Konieczność ta wynika ze struktury systemów operatorów GSM, bazujących na warstwowym modelu OSI (*Open System Interconnection*) [8], w których część transmisji danych odbywa się przez bramkę protokołu aplikacji bezprzewodowych WAP APN (*Wireless Application Protocol APN Gateway*), a część przez bramkę internetową *Internet APN Gateway*. Sesja WAP APN jest konieczna do uzyskania dostępu do serwera obsługującego transmisję danych WAP APN, przeglądania stron WAP, pobrania plików instalacyjnych aplikacji *mobileNtrip* i jej zarejestrowania. Natomiast aplikacje Javy, a taką jest właśnie program *mobileNtrip*, korzystają z bramki internetowej przy użyciu połączeń, udostępnianych przez warstwę aplikacji modelu OSI, opartych na programistycznych obiektach nazywanych gniazdam (*socket*) lub pakietowego przesyłania danych w sieci w oparciu o datagramowy protokół użytkownika UDP (*User Datagram Protocol*). Aplikacja *mobileNtrip* łącząc się z Castrem [3, 8], korzysta z połączenia typu *socket*. Połączenia typu UDP wykorzystuje np. IGS w projekcie RTIGS. Istnieje także możliwość komunikowania się telefonu komórkowego i odbiornika GPS za pośrednictwem standardu Bluetooth, który umożliwia przesyłanie danych i głosu na bliskie odległości za pomocą fal radiowych modulowanych techniką GFSK. Typowy zasięg wynosi 10 m i zależy od klasy mocy urządzenia (klasa 1 o mocy 100 mW i zasięgu do 100 m, klasa 2 o mocy 2,5 mW i zasięgu do 10 m oraz klasa 3 o mocy 1 mW o zasięgu do 1 m) [2].

8. Podsumowanie

Transmisja danych dla pomiarów RTK GPS odbywa się za pośrednictwem portu RS232C. Jest to więc asynchroniczna transmisja szeregową. Urządzeniem wykorzystanym do transmisji jest modem radiowy zewnętrzny, albo wbudowany w telefon komórkowy. Zastosowanie telefonu komórkowego jako DCE będzie szczególnie

korzystne na terenach zurbanizowanych, których topografia istotnie ogranicza zasięg modemu zewnętrznego podłączonego do stacji referencyjnej. O ile konfiguracja modemu zewnętrznego w odbiorniku GPS nie wymaga żadnej wiedzy na temat komend AT, o tyle skonfigurowanie telefonu komórkowego już jej wymaga, i to najlepiej dla konkretnego modelu telefonu, a przynajmniej jego producenta.

W pomiarach RTK GPS odbierane dane mogą pochodzić bezpośrednio ze stacji referencyjnej lub być przekazywane za pośrednictwem Internetu z wykorzystaniem protokołu HTTP i serwera mediów strumieniowych Icecast. Odbieranie danych z Internetu wymaga protokołu Ntrip i specjalnego oprogramowania dla komputera lub telefonu komórkowego.

Aspekty praktyczne teletransmisji danych w zastosowaniach geodezyjnych zostaną przedstawione w kolejnym opracowaniu.

Literatura

- [1] Daniluk A.: *RS232C praktyczne programowanie*. Wyd. 2, Hellion, Gliwice 2002.
- [2] <http://www.bluetooth.com>.
- [3] <http://igs.ifag.de>.
- [4] <http://www.icecast.org/>.
- [5] <http://www.mobilentrip.com>.
- [6] Januszewski J.: *Systemy satelitarne GPS Galileo i inne*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2006.
- [7] *Słownik pojęć komputerowych*. Świat Książki, Warszawa 2004.
- [8] Sportack M.: *Sieci komputerowe*. Helion, Gliwice 2004.
- [9] Uznański A.: *Metody wyznaczania pozycji techniką RTK GPS*. Geodezja (półrocznik AGH), t. 11, z. 2, 2005.