

Roman MIELCAREK

Politechnika Poznańska, Instytut Informatyki

Waldemar NAWROCKI

Politechnika Poznańska, Instytut Elektroniki i Telekomunikacji

WŁASNOŚCI KONFIGUROWALNEJ SIECI RADIOWEJ W RADIOTELEFONICZNYM SYSTEMIE TELEMECHANIKI – RST

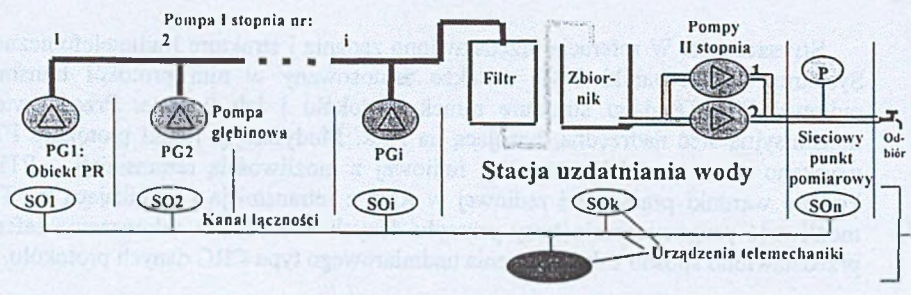
Streszczenie. W referacie przedstawiono zadania i strukturę Radiotelefonicznego Systemu Telemechaniki RST, a także zastosowany w nim protokół transmisji radiowej PTR. Podano strukturę ramek protokołu i ich funkcje. Przedstawiono transmisyjną sieć nadrzędną, bazującą na PTR. Modyfikując ramki protokołu PTR, uzyskano nowy protokół transmisji radiowej z możliwością retransmisji – PTRR. Podano warunki pracy sieci radiowej w RST z retransmisją i wynikającą z PTRR możliwość programowania trasy przesyłu danych w RST. Na zakończeniu referatu przedstawiono sposób zabezpieczenia nadmiarowego typu CRC danych protokołu.

PROPERTIES OF CONFIGURABLE WIRELESS NETWORK IN RADIOTELEPHONIC REMOTE CONTROL SYSTEM RST

Summary. In the paper tasks and structure of Radiotelephonic Remote Control System RST furnished with the wireless transmission protocol PTR are presented. The structure and functions of protocol frames are given and supervisory network based on PTR is described as well. By modifying frames of PTR protocol a new radio transmission protocol PTRR has been created with the retransmission option. Working conditions for radio network in RST with the retransmission function are given and a possibility of transmission route programming resulting from PTRR is described. In the final part of the paper the method of protocol data protection using CRC type redundancy code is provided.

1. Wprowadzenie

Radiotelefoniczny System Telemechaniki – RST przeznaczony jest do nadzoru i sterowania, drogą radiową lub przewodową, urządzeniami obiektowymi procesu rozproszonego – PR, jakimi są np.: studnie głębinowe ujęć wody, sieciowe punkty pomiarowo-kontrolne, obiekty uzdatniania wody, przepompownie, kontenerowe oczyszczalnie ścieków, węzły ciepłne, rozdzielnie energetyczne itp. Zadaniem RST jest przekazanie ze Stacji Obiektowych – SO, do Stacji Centralnej – SC, wartości parametrów analogowych (telepomiarów), binarnych stanów urządzeń obiektowych (telesygnalizacji). W kierunku przeciwnym, z SC do SO, przekazywane są polecenia systemowe oraz polecenia sterownicze dyspozytora systemu, realizujące funkcje telesterowania, najczęściej o charakterze załącz/wyłącz. System umożliwi również przekazanie do SO wartości zadanych.



SYSTEM TELEMCHANIKI

Rys. 1. Lokalizacja urządzeń telemechaniki w systemie wodociągowym

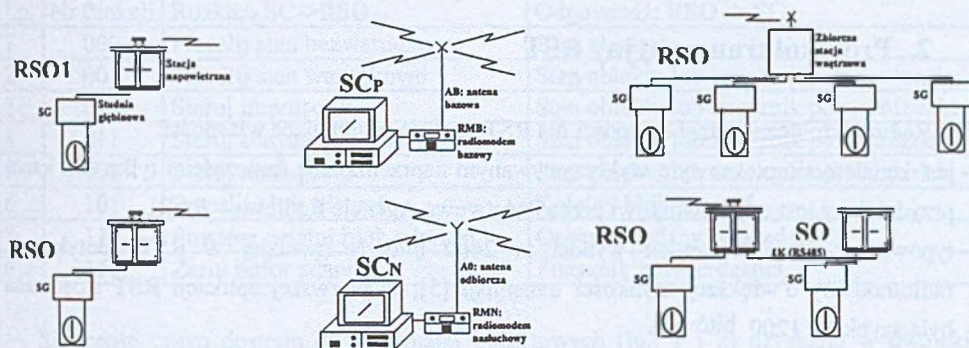
Fig. 1. The localization of the remote control devices in the water-supply system

Przykładową lokalizację stacji systemu telemechaniki, na uproszczonym schemacie technologicznym systemu wodociągowego, przedstawiono na rys.1.

W dotychczasowych aplikacjach systemu RST występują zasadniczo dwa typy stacji obiektowych. Pierwszy typ to niezależne SO, z których każda obsługuje pojedynczy obiekt procesu (studnię głębinową, przepompownię ścieków itp.). Ten typ występuje w dwóch odmianach: jako stacja napowietrzna w postaci wolno stojącej szafy obiektowej i jako stacja wewnętrzna, umiejscowiona w budynku obiektu technologicznego. Drugi typ SO to stacja zbiorcza (scentralizowana), obsługująca kilka obiektów technologicznych, umiejscowiona zazwyczaj w rozdzielni energetycznej, z której te obiekty są zasilane. Kosztowo ten drugi typ SO jest o ok. 25% tańszy od typu pierwszego w przeliczeniu na obiekt technologiczny, lecz stwarza on większe problemy aplikacyjne w przypadku konieczności pełnego opomiarowania obiektu. Warunkiem pełnego opomiarowania obiektu technologicznego jest istnienie odpowiedniego połączenia kablowego pomiędzy nim a stacją zbiorczą. Brak takiego

połączenia powoduje, że koszt jego położenia przewyższa ww. wspomniany zysk wynikający z wyboru SO jako stacji zbiorczej.

Na rys.2 pokazano przykładową strukturę RST ze stacjami obiektowymi zarówno w typie pierwszym, jak i drugim. Stacja Obiektowa SO z wyposażeniem radiotelefonicznym oznaczona jest symbolem RSO – Radiotelefoniczna Stacja Obiektowa.



Rys. 2. Struktura RST: SCP – Stacja Centralna – podstawowa, SCN – Stacja Centralna – nadrzędna, SO – Stacja Obiektowa (z łącznością przewodową): RSO(1-4) – Radiotelefoniczna Stacja Obiektowa, RSO4 – Retransmisyjna RSO, ŁK – Łączność kablowa

Fig. 2. RST structure: SCP – basic central station, SCN – supervisory central station, SO – Object station (wire connecting): RSO(1-4) – radiotelephone object station, RSO4 – relay RSO, ŁK – cable connector

RST – z punktu widzenia logiki łączności – ma strukturę liniową, mimo że topograficznie posiada zazwyczaj strukturę gwiazdową. Oznacza to, że każda Radiotelefoniczna Stacja Obiektowa RSO musi posiadać swój adres wywołania. Adres ten przychodzi w ramce polecenia zdalnego. Jeśli jest adresem danej RSO, łącznie z poprawnym formatem i zabezpieczeniami ramki, powoduje odpowiedź stacji. Treścią odpowiedzi są parametry obiektowe, odbierane przez podstawową Stację Centralną SCP, a także przez Stację Nadrzędną SCN (jedną lub kilka), jeśli system zawiera takie w swojej strukturze. SCP jest główną stacją dyspozytorską systemu i tylko ona pełni funkcję sterowania nadzorowanym procesem. Stacji SCN może być kilka i pełnić one mogą tylko funkcje kontrolno-rejestracyjne. Przewidziane są one dla kierownictwa przedsiębiorstwa lub nadzoru technicznego. Mogą pracować w sposób ciągły lub być uruchamiane sporadycznie, np. tylko w sytuacjach koniecznych lub awaryjnych.

Istotną zaletą łączności radiotelefonicznej jest możliwość bardzo łatwego dołączenia nowej stacji obiektowej (RSO) lub nadrzędnej (SCN). Dodatkową zaletą omawianego RST jest możliwość pracy RSO jako stacji obiektowej i jako stacji retransmisyjnej (RSO4),

z przejściem na łączność kablową z inną SO. Pozwala to na uelastycznienie systemu z jednoczesną oszczędnością wyposażenia SO (brak radiomodemu). Rozwiązanie to stosuje się dla stacji położonych blisko siebie (do kilkuset metrów) i mających połączenie kablowe pomiędzy sobą.

2. Protokół transmisyjny RST

Radiotelefoniczny kanał łączności dla RST posiada następujące własności:

- jest kanałem simpleksowym wykorzystywanym naprzemiennie (najczęściej tylko taki kanał przydzielany jest użytkownikowi przez Państwową Agencję Radiową – PAR),
- typowa szybkość transmisji wynosi to 2400 bitów/s (rzadziej w RST spotyka się radiomodemy o większej szybkości transmisji [5]; w pierwszej aplikacji RST stosowana była szybkość 1200 bitów/s).
- czasy przełączania radiomodemu simpleksowego z nadawania na odbiór i odwrotnie są rzędu od kilku do kilkudziesięciu milisekund; są to czasy porównywalne lub dłuższe od czasu transmisji krótkiej ramki stosowanego protokołu.

System łączności w RST oparty na paśmie simpleksowym posiada tę właściwość, że na ogół wszystkie stacje systemu słyszą się wzajemnie. Określono to powyżej mianem struktury liniowej, mającej swój odpowiednik w charakterze każdej sieci komputerowej, w której poszczególne stacje dołączone są do wspólnej linii transmisyjnej. Powyższa cecha wzajemnej słyszalności dotyczy na ogół każdej realizowanej transmisji w systemie. Jak już wspomniano wyżej, cecha ta jest wykorzystywana w systemie RST do realizacji nadzoru nadrzędnego przez SCN. Aby ten nadzór był możliwy, każda informacja przekazywana przez kanał radiowy musi być w pełni identyfikowalna co do swojego źródła, przekazywanych funkcji i jednoznaczności przenoszonych danych.

System transmisji w Systemie Telemechaniki powinien realizować dwie podstawowe funkcje: zdalny nadzór i zdalne sterowanie nadzorowanymi obiektami. W RST funkcję nadzoru oparto na zasadzie cyklicznego odpytywania (ang.: cyclic polling) stanu poszczególnych RSO. Funkcja telesterowania może być realizowana sporadycznie przez dyspozytora lub automatycznie przez komputer centralny. Nadzór i sterowanie realizowane są za pośrednictwem odpowiedniego protokołu transmisyjnego. W RST zastosowano nowo opracowany protokół, nazywany dalej protokołem transmisji radiowej – PTR. Założeniem podstawowym, przy opracowywaniu PTR dla RST, była minimalizacja liczby transmisji danych, koniecznych do wykonania z każdą RSO, ażeby czas dostępu do danych obiektowych był maksymalnie krótki. Założenie to jest możliwe do spełnienia przy przyjęciu minimalnej liczby funkcji realizowanych przez ramki protokołu i transmisji blokowej z danego obiektu –

danej RSO. Pozwoliłoby to uzyskać dużą przejrzystość przekazywanych ramek i prostotę stosowanych reguł protokołu. W tabeli T1 podano 8 typów przekazywanych funkcji (rozkazów), które zawiera protokół PTR systemu RST.

Tabela 1

Funkcje protokołu transmisyjnego PTR

Lp.	Nr funkcji	Rozkaz: SC->RSO	Odpowiedź: RSO -> SC
1	000	Prześlij stan bezwarunkowo	Stan obiektu
2	001	Prześlij stan warunkowo	Stan obiektu lub znacznik potwierdzenia
3	010	Steruj impulsowo	Stan obiektu lub znacznik potwierdzenia
4	011	Steruj statycznie bitem	Stan obiektu lub znacznik potwierdzenia
5	100	Steruj analogowo	Stan obiektu lub znacznik potwierdzenia
6	101	Prześlij blok zdarzeń	Kolejny blok zdarzeń
7	110	Powtórz ostatni blok zdarzeń	Ostatnio nadany blok zdarzeń
8	111	Zeruj bufor zdarzeń	Znacznik potwierdzenia

Skrócenie czasu dostępu do informacji obiektowych (lp.: 1 i 2) uzyskano w dwojaki sposób:

- poprzez zgrupowanie tych danych w każdej RSO w jeden blok odpowiedzi,
- poprzez wprowadzenie opcjonalnej transmisji zależnej od zdarzeń: SC wysyła do każdej RSO rozkaz z funkcją lp.=2. Żądane dane z RSO są nadawane tylko w przypadku zmiany ich stanu od ostatniego odpytania. W przypadku przeciwnym nadawany jest znacznik potwierdzenia, informujący SC, że w obrazie obiektu danej RSO nic się nie zmieniło. Natomiast w przypadku zaistniałej zmiany przesyłany jest cały stan obiektu, tak jak w odpowiedzi na ramkę z lp.=1.

Przejrzystość reguł protokołu widać na przykładzie trzech funkcji telesterowania: odpowiedzi na rozkazy telesterowania (lp. 3-5) są zawsze takie same.

Odczyt rejestratora zdarzeń, w którym dane o zmianie stanu obiektu RSO zapamiętywane są z sygnaturą czasu, odbywa się rozkazami wg lp. 6-8.

2.1. Ramka protokołu PTR

Ramka protokołu transmisji radiowej PTR [2] powinna przekazywać zasadniczo trzy informacje:

- adres stacji wywoływanej lub odpowiadającej,
- numer funkcji (nr rozkazu) przekazywanej za pośrednictwem ramki,
- blok danych sterujących do RSO lub danych obiektowych z RSO.

Dodatkową informacją powinny być dane zabezpieczenia nadmiarowego tych trzech informacji, w celu ich weryfikacji po stronie odbiorczej. Ponadto pożądane byłoby

wprowadzenie organizacyjnych znaczników początku i końca ramki w celu pewniejszego jej dekodowania.

Ogólną postać ramki PTR przedstawiono w tabeli T2. Z uwagi na własności stosowanego kanału radiowego i zwiększenie pewności funkcji telesterowania, jako najbardziej odpowiedzialnej funkcji w systemie, wprowadzono w niej podwójne zabezpieczenie nadmiarowe; oddzielne dla adresu i przekazywanej funkcji, i oddzielne dla przesyłanego bloku danych, za pośrednictwem którego jest realizowane telesterowanie.

Tabela 2

Ogólna postać ramki protokołu PTR

Sekcja	Bajty ramki	Charakterystyka
	$(1+k)*BST$	Bajt startu: $(1+k)$
Sekcja	BFA	Bajt funkcyjno-adresowy
funkcyjno-adresowa	NFA1	Nadmiar funkcyjno-adresowy: bajt starszy
SFA	NFA0	Nadmiar funkcyjno-adresowy: bajt młodszy
Sekcja	Blok	Bajty bloku danych ramki: ich liczba i sens
danych	danych	zależy od BFA
ramki	NBD1	Nadmiar bloku danych ramki: bajt starszy
SDR	NBD0	Nadmiar bloku danych ramki: bajt młodszy
	BSP	Bajt stopu

Sekcja danych jest sekcją opcjonalną, występującą tylko w ramach telesterowania i w większości ramek odpowiedzi RSO. Strukturę tej sekcji definiuje numer przekazywanej funkcji. Pierwszy bajt sekcji danych ramki odpowiedzi zawiera informację o liczbie bajtów bloku danych nadzorowanego obiektu, który nadawany jest po tym bajcie. Największa liczba bajtów bloku danych może wynosić 255.

Założono, że liczba stacji obiektowych w systemie zostanie ograniczona do 32, z czego adres 31 jest adresem ogólnym (rozproszenia). Adres stacji wraz z numerem funkcji występują w ramce w postaci bajtu funkcyjno-adresowego BFA.

Bajty danych każdej sekcji ramki są zabezpieczone nadmiarowo systematycznym kodem wielomianowym [1] o wielomianie generującym 16 stopnia. W wyniku kodowania uzyskuje się 16-bitową resztę (CRC), pozwalającą na wykrycie do 7 błędów w słowie kodowym z jednym bajtem informacyjnym (bajtem danych).

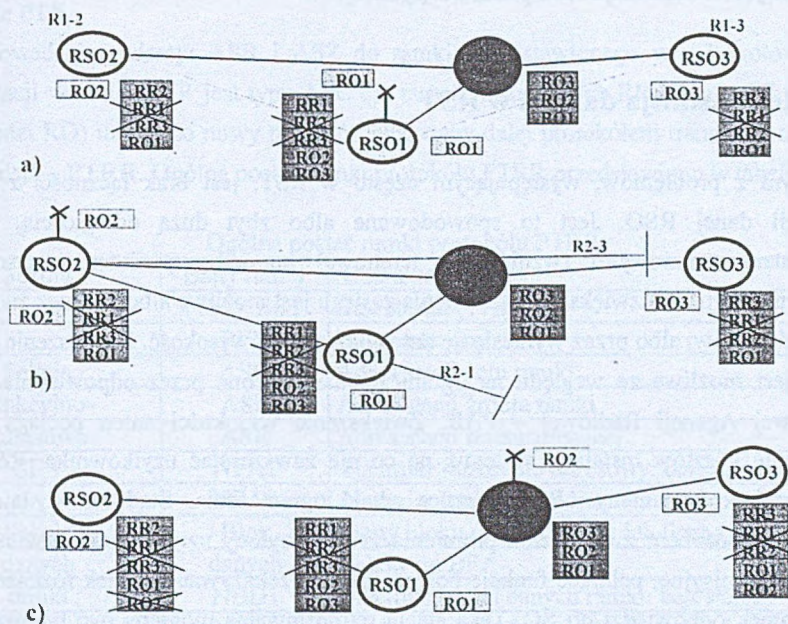
Adres w ramce jest zawsze adresem Stacji Obiektowej zarówno dla ramek rozkazowych, jak i dla ramek odpowiedzi. Stacja Centralna nie ma przypisanego żadnego adresu.

3. Transmisyjna sieć nadrzędna

Jednym z założeń podczas opracowania PTR było uzyskanie możliwości automatycznego sterowania rozproszonego w każdej RSO systemu RST [7]. Przez automatyczne sterowanie rozproszone określa się możliwość sterowania przez RSO urządzeniami własnego obiektu lub (i) pozostałych (lub wybranych) obiektów w systemie, na podstawie posiadania przez nią całej (lub częściowej) bazy danych obiektowych z pozostałych obiektów – pozostałych RSO.

Aby system miał taką możliwość, konieczne jest spełnienie dwóch warunków:

- każda RSO musi mieć możliwość odbioru ramki odpowiedzi każdej z pozostałych RSO,
- dane w ramce odpowiedzi muszą być w pełni identyfikowalne co do swego źródła i struktury.



Rys.3. Pozyskiwanie danych w RST dla sterowania rozproszonego: a) nadawanie RO1 z RSO1 obejmuje swym promieniem zasięgu R1-j wszystkie pozostałe RSOj, b) nadawanie RO2 z RSO2 nie obejmuje swym promieniem R2-3 stacji RSO3, c) retransmisja RO2 przez SC dla RSO3

Fig.3. Data acquisition in RST for distributed control: a) the coverage radius R1-j of RO1 sent from RSO1 comprises all other RSOj, b) the coverage radius R1-j of RO2 sent from RSO2 does not comprise RSO3, c) retransmission of RO2 via S.C. for RSO3

Warunek drugi spełnia każda ww. ramka protokołu PRT. Natomiast spełnienie warunku pierwszego sprowadza się do uzyskania typowej struktury sieciowej, w której każda stacja sieci jest słyszana przez wszystkie pozostałe. Z uwagi na wykorzystywanie w RST jednego kanału transmisyjnego (simpleks naprzemienny) warunek ten jest też najczęściej spełniony. Oznacza to, że najczęściej do każdej RSO dociera ramka odpowiedzi z każdej z pozostałych RSO. Jeśli jednak dana stacja RSO_i leży poza promieniem zasięgu (R_{i-j}) innej RSO_j, z której to wymagane są również dane do realizacji sterowania rozproszonego, to konieczne jest wspomoczenie się retransmisją przez SC ramki odpowiedzi z RSO_j. Sytuację taką przedstawiono na rys.3. W systemie transmitowane są ramki rozkazowe RR i ramki odpowiedzi RO stacji nr i. Stacje: RSO1 i RSO3 wymagają pełnej bazy danych obiektowych z pozostałych RSO. RSO1 obejmuje swoim promieniem zasięgu pozostałe dwie RSO systemu. Natomiast promień zasięgu R2-3 nie obejmuje swym zasięgiem RSO3 (rys.3.b), stąd wymagana jest retransmisja RO2 przez SC (rys.3.c).

4. Retransmisja danych w RST

Jednym z problemów, występującym często w RST, jest brak łączności z punktem lokalizacji danej RSO. Jest to spowodowane albo zbyt dużą odległością, albo też przeszkodami terenowymi (wzniesienie terenowe) pomiędzy punktami transmisji. W pierwszym przypadku zwiększenie promienia zasięgu jest możliwe albo poprzez zwiększenie mocy nadajników, albo przez wyniesienie anten na większą wysokość. Zwiększenie mocy nie zawsze jest możliwe ze względu na ograniczenia narzucone przez odpowiednie przepisy Państwowej Agencji Radiowej – PAR. Zwiększenie wysokości anten pociąga za sobą zwiększenie kosztów instalacji systemu, na co nie zawsze stać użytkownika. Również w kwestii wysokości anteny PAR narzuca swoje ograniczenia. Stąd też wydaje się, że najlepszym sposobem zwiększenia promienia zasięgu byłoby uzupełnienie systemu RST o stacje retransmisyjne, pełniące funkcje pośrednika w przekazywaniu ramek rozkazowych do RSO i ramek odpowiedzi do SC. Taka stacja retransmisyjna mogłaby być typową RSO, z kontrolowanym i sterowanym przez nią obiektem, a dodatkowo pełniłaby usługi retransmisyjne. Stacja taka nazywana będzie dalej Radiowo-Retansmisyjną Stacją Obiektową – RRSO.

Wybrana RSO z protokołem PTR też mogłaby pełnić funkcje retransmisyjne, lecz wymagałoby to uzupełnienia oprogramowania komunikacyjnego o tę funkcję i nie gwarantowałyby to pewności transmisji w przypadku zmiany (polepszenia) warunków propagacyjnych stosowanego pasma radiowego. Problem sprowadza się do wprowadzenia

stałego „organizacyjnego mechanizmu” w protokole transmisyjnym, który by tę retransmisję umożliwił i który by gwarantował zawsze poprawność jej działania.

4.1. Protokół retransmisyjny PTRR

Podstawowym parametrem wymaganym przez RSO, informującym ją o tym, czy ma pełnić ona funkcje retransmisyjne czy też nie, byłoby wprowadzenie do ramki protokołu transmisyjnego adresu stacji retransmisyjnej – ASR. Jeśli przyjmiemy, że dotychczasowy adres RSO – AS może być zarówno adresem stacji celu – ASC, jak i ASR, to porównanie AS z tymi dwoma adresami w odebranej ramce jest podstawą do wydania decyzji o retransmisji odebranej ramki lub o przesłaniu ramki odpowiedzi RO. Jeśli założyć, że wspomniana ramka protokołu zostanie uzupełniona o adres stacji źródła – ASZ, to uzyskuje się ramkę, w której dane są jeszcze lepiej identyfikowalne co do swego pochodzenia niż w protokole PTR.

Wprowadzając adresy: ASR i ASZ do ramki przedstawionego w p.3 protokołu PTR (adres stacji w ramce PTR jest typu ASC dla ramek rozkazowych RR i typu ASZ dla ramek odpowiedzi RO) uzyskano nowy protokół, nazywany dalej protokołem transmisji radiowej z retransmisją – PTRR. Ogólną postać ramki protokołu PTRR przedstawiono w tabeli T3.

Tabela 3

Ogólna postać ramki protokołu PTRR

Sekcja	Bajty ramki	Charakterystyka
	$(1+k)*BST$	Bajt startu: $(1+k)$
	BFN	Bajt funkcyjny
Sekcja	ASC	Adres stacji celu ramki
funkcyjno-	ASZ	Adres stacji źródła ramki
adresowa	ASR	Adres stacji retransmisyjnej
SFA	NFA1	Nadmiar funkcyjno-adresowy: bajt starszy
	NFA0	Nadmiar funkcyjno-adresowy: bajt młodszy
Sekcja	Blok	Bajty bloku danych ramki: ich liczba i sens
danych	danych	zależy od BFA
ramki	NBD1	Nadmiar bloku danych ramki: bajt starszy
SDR	NBD0	Nadmiar bloku danych ramki: bajt młodszy
	BSP	Bajt stopu

Ze struktury ramki wynika, że w systemie telemechaniki opartym na tym protokole Stacja Centralna – SC musi mieć także swój adres. Przypisano jej adres nr 0. Wynika stąd, że pozostałych stacji systemu RST może być 254 (po odjęciu adresu rozproszenia). Liczba ta przekracza znacznie realne potrzeby każdej instalacji takiego systemu. Zbyt duża liczba RSO jest także nie do wykorzystania z uwagi na zbyt długi czas dostępu do danych obiektowych.

Zakładając, że cykl transmisji z daną RRSO nie przekraczałby 1 sekundy, to czas uaktualnienia obrazu wszystkich 254 obiektów przekraczałby 4 minuty.

Decyzja: albo o retransmisji odebranej ramki (RR lub RO), albo o nadaniu odpowiedzi w postaci RO musi być jednoznaczna w systemie. Oznacza to, że decyzja o nadaniu RO musi uwzględniać oba adresy: ASR i ASC w postaci koniunkcji: $(ASR = AS) \cap (ASC = AS)$. Decyzja o retransmisji jest podejmowana przy warunku $(ASR = AS) \cap (ASC \neq AS)$. Oznacza to, że stacja retransmisyjna musi przekodować adres ASR w retransmitowanej ramce, na adres kolejnej stacji retransmisyjnej lub adres stacji celu. Tylko przy takim założeniu nie będzie możliwe jednoczesne nadanie ramki retransmisyjnej i ramki odpowiedzi przez dwie RRSO (retransmisyjną i celu), które, w przypadku polepszenia się warunków propagacyjnych odebrały tę samą ramkę rozkazową z odpowiednimi adresami.

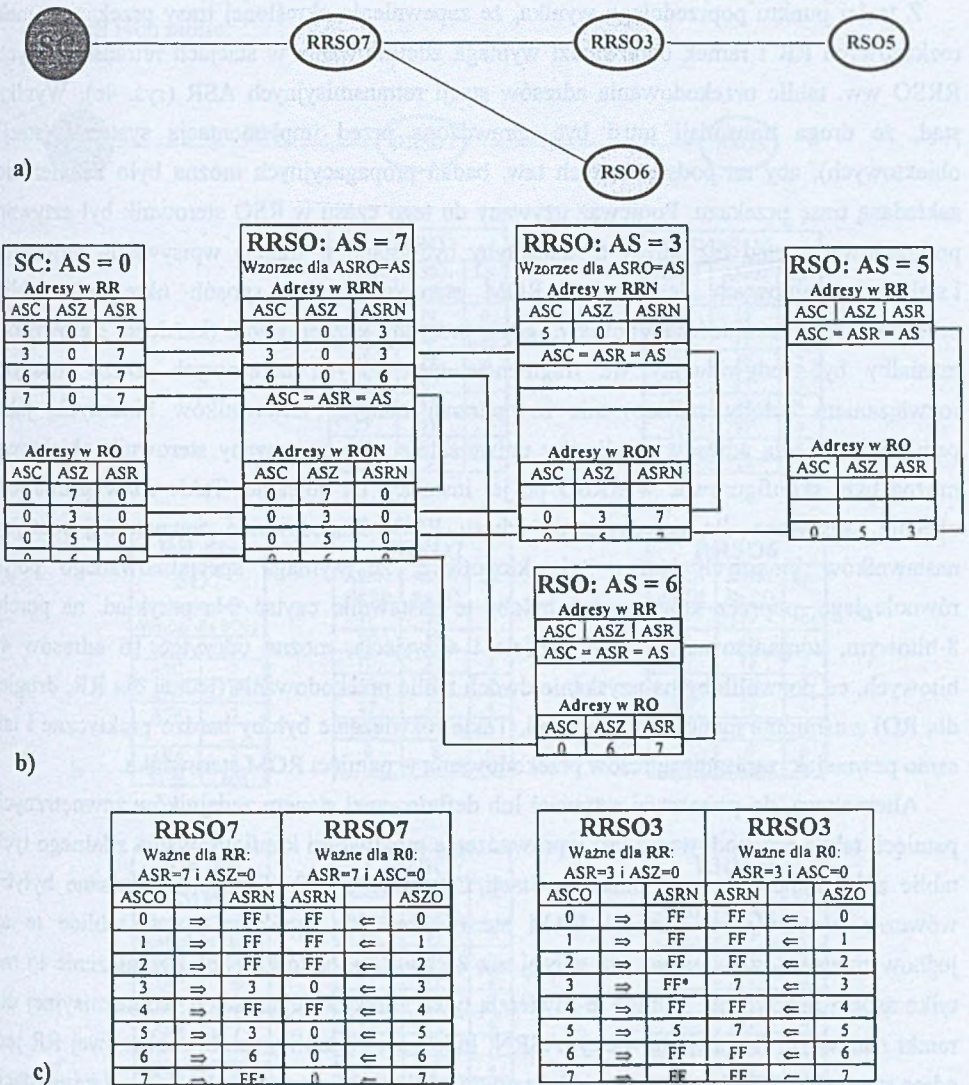
Przekodowanie (zmiana) adresów w retransmitowanej RR lub RO w stacji retransmisyjnej lub nadawanej RO w stacji celu (stacji końcowej) wymaga wpisania do jej pamięci adresów podmiany. Adresy te będą wytyczały wszystkich kolejnych pośredników (RRSO) przekazywanej informacji: od źródła do celu ($SC \rightarrow RRSO$), a także w kierunku odwrotnym ($RRSO \rightarrow SC$). Na rys.4a przedstawiono przykładową topografię RRSO z dwoma stacjami retransmisyjnymi (SO7 i SO3) i dwoma stacjami końcowymi (RSO5 i RSO6). Na rys.4b pokazano tabele adresowe stacji retransmisyjnych i końcowych, przykładowego diagramu transmisji, w których ASRO oznacza ASR w ramce odebranej, a ASRN oznacza ASR w ramce nadawanej przez daną stację. Natomiast na rys.4c podano tabele przekodowania adresów stacji retransmisyjnej ASR, zmienianego w ramce nadawanej (r. retransmisyjnej jako ASRN) z danej RRSO na podstawie adresu ASRO z ramki odebranej w tej stacji. W tabelach tych wartość FF oznacza nie istniejący adres, natomiast FF* oznacza ramkę rozkazową adresowaną do danej RRSO, na którą stacja to nadaje ramkę odpowiedzi.

Kolejną cechą sieci retransmisyjnej jest wydłużenie czasu dostępu do danych obiektowych ze stacji, do której dane docierają przez pośredników. Zakładając, że czas cyklu każdej stacji (odbiór-nadawanie) w procesie pozyskiwania danych jest taki sam i wynosi T_c , a liczba stacji retransmisyjnych z daną RSO wynosi k , to czas dostępu do danych tej stacji wyraża się zależnością:

$$T_{dd} = (1 + 2k)T_c \quad (1)$$

Uwzględniając subtelne różnice w czasach cyklu stacji retransmisyjnej podczas przekazywania ramki rozkazowej (T_{crr}) i ramki odpowiedzi (T_{cro}) i cyklu stacji końcowej (T_{cso}), powyższa zależność ma postać następującą:

$$T_{dd} = T_{cso} + k(T_{crr} + T_{cro}) \quad (2)$$



Rys. 4. System RST z dwoma stacjami retransmisyjnymi: a) topografia trasy transferu danych poprzez stacje retransmisyjne RRSO; b) tabele adresów ramek nadawanych – retransmitowanych: RRN – r. rozkazowa, RON – r. odpowiedzi ze stacji retransmisyjnych RRSO i stacji końcowych RSO; c) tabele przekodowania dla adresów stacji retransmisyjnych ASR w RRSO

Fig. 4. RST system with two retransmission stations: a) topography of data transfer route by retransmission stations RRSO; b) address tables of sent and retransmitted frames: RRN – command frame, RON – answer frames from retransmission stations RRSO and terminal stations RSO; c) conversion tables for addresses of retransmission stations ASR in RRSO

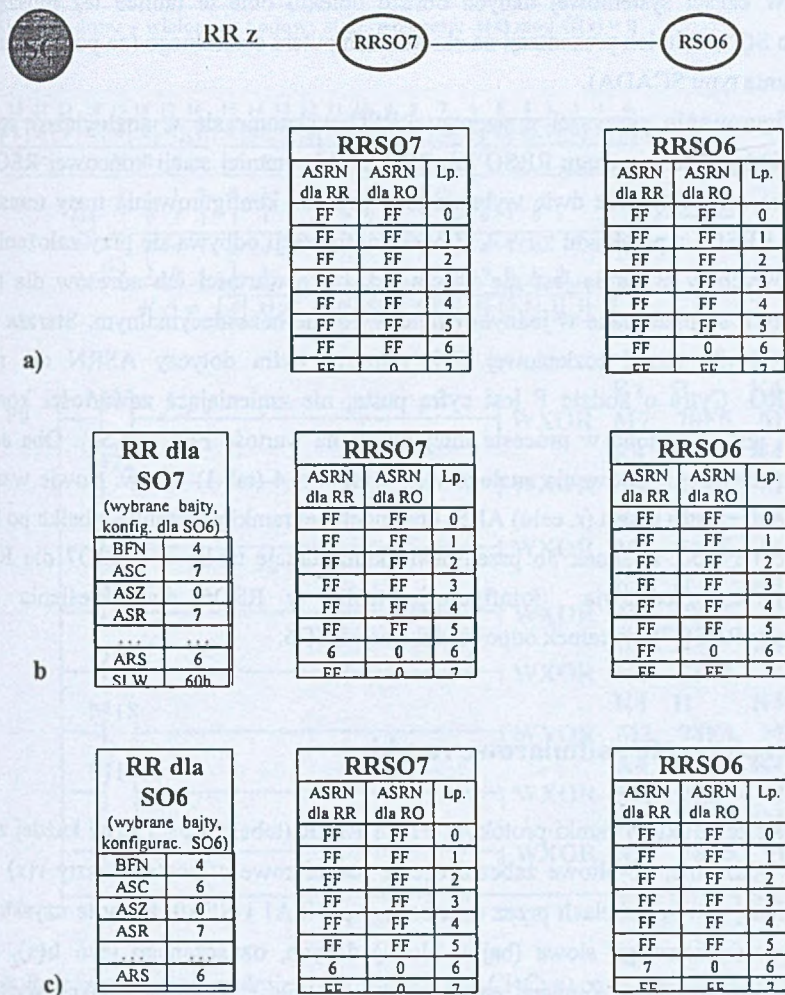
4.2. Programowanie trasy przekazu ramki

Z treści punktu poprzedniego wynika, że zapewnienie określonej trasy przekazu ramek rozkazowych RR i ramek odpowiedzi wymaga zdefiniowania w stacjach retransmisyjnych RRSO ww. tablic przekodowania adresów stacji retransmisyjnych ASR (rys. 4c). Wynika stąd, że droga transmisji musi być sprawdzona przed implementacją systemu (stacji obiektowych), aby na podstawie tych tzw. badań propagacyjnych można było zatwierdzić zakładaną trasę przekazu. Ponieważ używany do tego czasu w RSO sterownik był sztywno programowany, stąd też adresy te musiałyby być znane w trakcie wpisywania programu i stałych systemowych do pamięci ROM sterownika. Ten sposób określania tablic przekodowania jest dość kłopotliwy, gdyż program każdej stacji (każdego sterownika) musiałby być indywidualny we fragmencie tych stałych adresowych. Dużo lepszym rozwiązaniem byłoby zastosowanie zewnętrznej matrycy nastawników binarnych, jako pamięci ROM dla adresów stacji, aby uniwersalnie oprogramowany sterownik obiektowy można było skonfigurować w RRSO po jej instalacji na obiekcie. Takie rozwiązanie jest obecnie stosowane dla pojedynczego adresu RSO. Zastosowanie zewnętrznej matrycy nastawników binarnych jest o tyle kłopotliwe, że wymaga specjalizowanego portu równoległego, poprzez który można byłoby te nastawniki czytać. Na przykład, na porcie 8-bitowym, zorganizowanym w 4 wejścia i 4 wyjścia, można odczytać 16 adresów 4-bitowych, co pozwoliłoby na uzyskanie dwóch tablic przekodowania (jednej dla RR, drugiej dla RO) z ośmioma nieпустymi adresami. Takie rozwiązanie byłoby bardzo praktyczne i tak samo pewne jak zapisanie adresów przekodowania w pamięci ROM sterownika.

Alternatywą, do powyższej sztywnej lub definiowanej stanem zadajników zewnętrznych pamięci, tablic przekodowania jest wprowadzenie możliwości konfigurowania zdalnego tych tablic z komputera dyspozytorskiego Stacji Centralnej – SC. Tablice te zapisane byłyby wówczas w nieulotnej pamięci RAM sterownika. Jak wynika z rys.4, tablice te są jednowymiarowe, zawierające nie więcej niż 8 słów (np. bajtów), choć ograniczenie to ma tylko aspekt praktyczny. Tablice te zawierają tylko adresy kolejnej stacji retransmisyjnej dla ramki nadawczej (retransmitowanej) ASRN. Indeksom do tablicy ramki rozkazowej RR jest adres stacji celu ASCO, natomiast indeksem do tablicy ramki odpowiedzi RO jest adres stacji źródła ASZO ramki odebranej. Wynika stąd, że każda retransmisja przez daną RRSO wymaga ustawienia dwóch adresów typu ASRN w tych dwóch tablicach. Jeśli dodatkowo założymy implementację w oprogramowaniu sterownika stacji dwóch funkcji:

- 1 – sterownik realizuje funkcję każdej RR adresowanej bezpośrednio do niej: $ASC=ASR$, mimo że tablice przekodowania nie są skonfigurowane,

2 – funkcją sterowania zapisu wartości (st. analogowego) są objęte tablice przekodowania dla RR i RO, to po zainstalowaniu RRSO i RSO możliwe byłoby konfigurowanie w nich tych tablic.



Rys. 5. Fazy procesu konfigurowania trasy transmisji dla RRSO7 i RRSO3; a) tablice ASRN przed konfiguracją, b) konfiguracja tablic w stacji retransmisyjnej RRSO7 dla retransmisji ramek do/z RSO6, c) konfiguracja tablic w stacji końcowej RSO7 dla retransmisji przez RRSO7

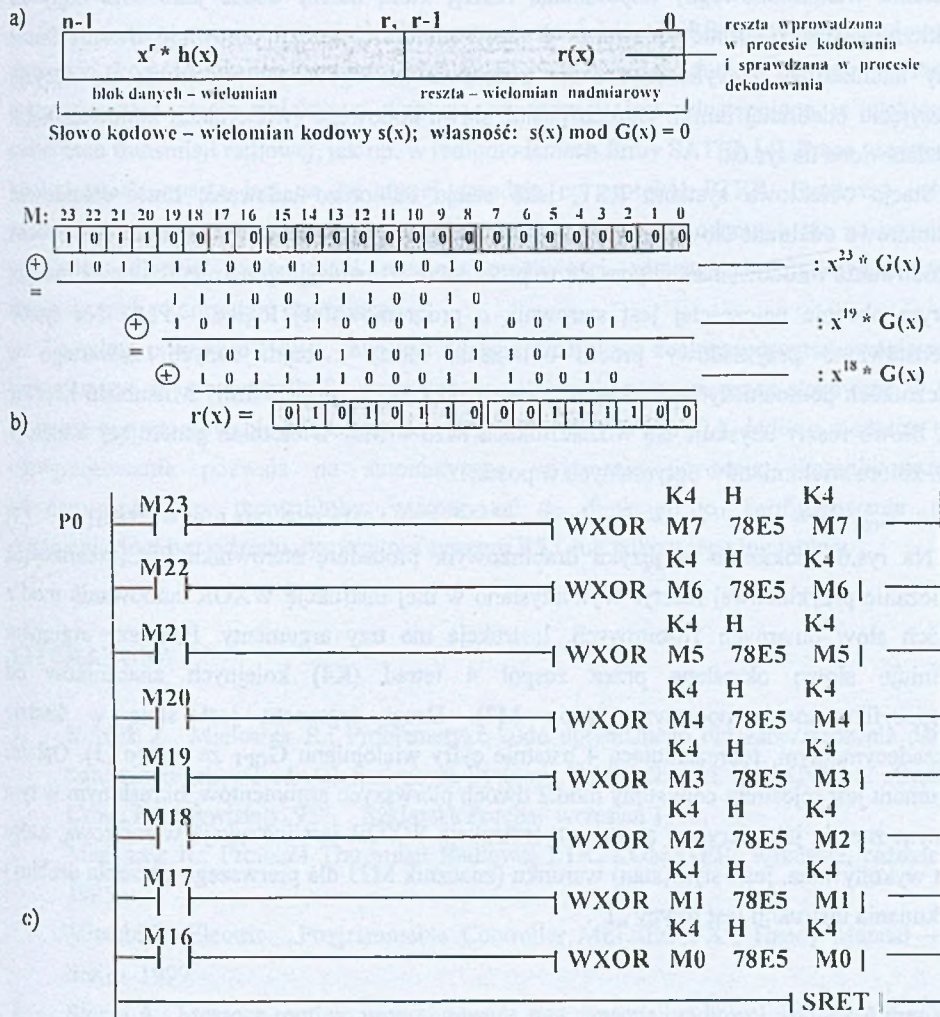
Fig. 5. Stages of transmission route configuration for RRSO7 and RRSO3; a) ASRN tables before configuration, b) configuration of tables in retransmission station RRSO7 for retransmission of frames to/from RSO6, c) configuration of tables in terminal station RSO7 for retransmission via RRSO7

Konfiguracja zaczyna się od pierwszej w szeregu stacji retransmisyjnej RRSO_i, w której należy ustawić adresy w tych dwóch tablicach dla następnej stacji retransmisyjnej lub stacji końcowej. Konfiguracja polega na przesłaniu wartości (liczby) jako adresu ASRN do konkretnego wiersza tablicy, który to wiersz byłby identyfikowany numerem wykonanego sterowania. W części systemowej danych obrazu obiektu obie te tablice też muszą być przesyłane do SC w celu ich prezentacji na ekranie komputera centralnego (za pośrednictwem oprogramowania typu SCADA).

Po skonfigurowaniu pierwszej w szeregu RRSO wykonuje się w analogiczny sposób konfigurację kolejnych w szeregu RRSO lub RSO aż do ostatniej stacji końcowej RSO. Na rys.5 pokazano schematycznie dwie wybrane fazy procesu konfigurowania trasy transmisji dla RRSO7 i RRSO3 z przykładu z rys.4. Proces konfiguracji odbywa się przy założeniu, że stacji obiektowych w systemie jest nie więcej niż 14, a wartości ich adresów dla tablic konfiguracyjnych są przesyłane w jednym bajcie w kodzie heksadecymalnym. Starsza cyfra dotyczy ASRN dla ramki rozkazowej RN, młodsza cyfra dotyczy ASRN dla ramki odpowiedzi RO. Cyfra o kodzie F jest cyfrą pustą, nie zmieniającą zawartości komórki tablicy, która jest ustawiona w procesie inicjalizacji na wartość FFh (rys.5a). Oba adresy przesyłane są rozkazem sterowania analogowego z BFN = 4 (tab.1) w tzw. słowie wartości SLW z adresem rejestru słowa (r. celu) ARS. Fragmenty tej ramki prezentuje tabelka po lewej stronie rys.5b i rys.5c. Rysunek 5b przedstawia konfigurację tablic w RRSO7 dla RSO6, natomiast rys.5c przedstawia konfigurację tablic w RSO6 dla określenia stacji retransmisyjnej (RRSO7) dla ramek odpowiedzi stacji RSO6.

5. Zabezpieczenie nadmiarowe ramki

Jak wynika ze struktury ramki protokołu PTR i PTRR (tabele T2 i T3), w każdej z nich zastosowano oddzielne, 16-bitowe zabezpieczenie nadmiarowe w postaci reszty $r(x)$ (typu CRC), określanej w ww. tabelach przez dwa bajty: np. NFA1 i NFA0. Bajty te uzyskuje się z dzielenia wielomianowego słowa (bajtu, bloku) danych, oznaczanego jako $h(x)$, przez wielomian generujący $G(x)$. Z uwagi na to, że w protokole PTR słowo danych występuje w najkrótszej postaci w postaci bajtu, stąd należało określić kod typu $(n,k) = (24,8)$ o jak najlepszych własnościach detekcyjnych. W pracy [1] przedstawiono proces i rezultaty poszukiwania takiego kodu. Znalezione duży zbiór kodów (ok. 6,5 tys.) typu $(24,8)$, z których każdy miał minimalną odległość Hamminga $d = 8$, czyli posiadał zdolność detekcyjną $\gamma = d - 1 = 7$. Oznacza to, że taki kod pozwalał wykryć do 7 błędów (przekłamań pozycyjnych) w każdym swoim słowie. Jeden z takich kodów zastosowano w protokole PTR.



Rys. 6. Proces obliczenia nadmiaru kodowego typu CRC; a) ogólna postać słowa kodowego w zapisie wielomianowym, b) przykład procesu dzielenia wielomianowego dla obliczenia reszty $r(x)$, c) procedura w języku drabinkowym dla sterownika FX obliczająca $r(x)$

Fig. 6. CRC type code redundancy calculation; a) polynomial representation of a code word b) example of polynomial division for calculating remainder $r(x)$ c) procedure for $r(x)$ calculation in FX controller ladder language

Proces kodowania nadmiarowego bloku danych występuje po stronie nadawczej, natomiast proces odwrotny, proces dekodowania odbywają się po stronie odbiorczej ramki

protokołu. W każdym przypadku na podstawie bloku danych należy obliczyć (w wyniku ww. dzielenia wielomianowego) wspomnianą resztę, którą należy dodać jako dwa bajty za blokiem danych po stronie nadawczej. W stacji odbiorczej należy porównać dwa odebrane bajty nadmiarowe z wyliczonymi. Na podstawie ich zgodności podejmuje się decyzję o przyjęciu odebranej ramki. Ogólna postać słowa kodowego (wielomianu kodowego) jest przedstawiona na rys.6a.

Stacja obiektowa systemu RST, jako stacja odbiorczo-nadawcza, musi dekodować nadmiarowo odebrane słowa kodowe i kodować nadmiarowo nadawany blok danych. Proces dekodowania i kodowania odbywa się w procedurze transmisyjnej sterownika obiektowego, którym obecnie najczęściej jest sterownik o programowalnej logice – PLC. Na rys.6b przedstawiono przykładowy proces obliczania reszty z bajtu danych, zawartego w znacznikach pomocniczych M16 – M23 sterownika PLC typu FX firmy Mitsubishi Electric [3]. Słowo reszty uzyskuje się w znacznikach M15 – M0. Wielomian generujący wzięto z ww. zbioru wielomianów optymalnych w postaci:

$$G_{OPT} = x^{16} + x^{14} + x^{13} + x^{12} + x^{11} + x^7 + x^6 + x^5 + x^2 + 1 \equiv 10111100011100101 = 178E5H \quad (3)$$

Na rys.6c pokazano w języku drabinkowym procedurę sterownika PLC, realizującą obliczanie przykładowej reszty. Wykorzystano w niej instrukcję WXOR sumowania mod.2 dwóch słów binarnych 16-bitowych. Instrukcja ma trzy argumenty. Pierwszy argument definiuje słowo określane przez zespół 4 tetrad (K4) kolejnych znaczników od wyspecyfikowanego począwszy (np.: M7). Drugi argument jest stałą w kodzie heksadecymalnym, reprezentującą 4 ostatnie cyfry wielomianu G_{OPT} ze wzoru (3). Ostatni argument jest rejestrem celu sumy mod.2 dwóch pierwszych argumentów, określonym w tym samym zapisie jak pierwszy argument. Instrukcja WXOR jest instrukcją warunkową, która jest wykonywana, jeśli styk (stan) warunku (znacznik M23 dla pierwszego szczebla drabiny) wykonania instrukcji jest równy „1”.

6. Podsumowanie

Radiowy System Telemechaniki RST pracuje w kilku przedsiębiorstwach wodociągowych na terenie Polski. Opracowany i zaimplementowany w nim protokół transmisji radiowej sprawdził się w swoich założeniach co do odporności transmisji na błędy (zabezpieczenia nadmiarowe), jak i co do realizacji monitorowania nadrzędnego. Wprowadzona opcjonalnie retransmisja ramki odpowiedzi RO przez Stację Centralną – SC pozwoliła na uzyskanie nadrzędnej sieci transmisyjnej danych obiektowych. Sieć ta dała

możliwość wprowadzenia sterowania rozproszonego, realizowanego przez same Radiotelefoniczne Stacje Obiektowe.

Zaimplementowanie w stacjach RST nowego protokołu PTRR pozwoli na budowanie dowolnie skomplikowanej trasy transmisji radiowej w oparciu o funkcję retransmisji ramek przez dowolne stacje obiektowe. Funkcja retransmisji jest udostępniona w niektórych systemach transmisji radiowej, jak np. w radiomodemach firmy SATEL [4]. Praca w systemie *virtual mode* oparta jest na tej samej zasadzie co protokół PTRR. Ponieważ jednak programowanie trasy przekazu odbywa się na poziomie radiomodemu a nie na poziomie protokołu, dlatego system taki nie ma możliwości zdalnego konfigurowania trasy transmisyjnej z komputera centralnego.

Ta zaleta protokołu PTRR, jaką jest właśnie możliwość zdalnego programowania trasy transmisyjnej w systemie RST, może być w pełni wykorzystana przez stosowane w tym systemie oprogramowanie dyspozytorskie TELWIN [6] typu SCADA. Jeden z modułów tego oprogramowania pozwala na automatyczne wykonanie dowolnie skomplikowanego telesterowania, co pozwoliłoby wykorzystać tę funkcję do konfigurowania sieci retransmisyjnej bez udziału dyspozytora systemu RST lub tylko z jego inicjatywy.

LITERATURA

1. Kubiak Z., Mielcarek R.: Problematyka kodu optymalnego dla zabezpieczenia danych transmisyjnych w Radiotelefonicznym Systemie Telemechaniki. II MKNT pt.: „Systemy Czasu Rzeczywistego 95”, Szklarska Poręba, wrzesień 1995.
2. Mielcarek R.: Protokół Transmisji Radiowej PTR. KOMSTER, Wrzesnia, październik 1995.
3. Mitsubishi Electric: „Programmable Controller MELSEC FX”, Handy Manual – FX Series. 1999.
4. Sioma A.: Message routing: programowanie tras transmisji radiowej. Biuletyn Automatyki – ASTOR. Nr 1/2001.
5. Nawrocki W.: Sensory i systemy pomiarowe. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2001.
6. Lis T., Sobkowiak A.: TelWin – System Wizualizacji Procesów Przemysłowych. Wersja 3.0. TEL-STER, Poznań, lipiec 2001.
7. Mielcarek R.: Możliwości realizacji automatycznego sterowania rozproszonego ujęciami wody w Radiotelefonicznym Systemie Telemechaniki. Prace V KNT pt.: Komputer w ochronie środowiska. Poznań – Ostróda, wrzesień 2001.

Recenzent: Dr inż. Bartłomiej Zieliński

Wpłynęło do Redakcji 4 kwietnia 2002 r.

Abstract

Radiotelephonic Remote Control System RST placed upon several water and sewage works in Poland is based on the specialised wireless transmission protocol PTR. The PTR is used for data exchange between central (SC) and object (SO) stations. The protocol should enable realisation of an extensive functionality of a remote control system and take into account specifics of radiotelephonic system.

In the first part of the paper the structure of RST system (Fig.1 and Fig.2) and requirements of the PTR protocol have been presented. Structure of frames and details of their functions (Table 1 and Table 2) are given. Since the main stress in the system analysis stage has been put on the minimisation of a variety of command frames, the high transparency of protocol structure has been obtained without any losses in its functionality. The event depending transmission principle has been described. It enables fast control of SO status, which is essential for fast access to object data in the linear radio transmission channel, common for all object stations SO.

One of the system requirements was independent object data identification, necessary for supervisory radio transmission network. The supervisory network, based on the elementary question-answer property of the system, enabled distributed automatic control. This property has been described in the section 4 of the paper (Fig.3).

Next requirement for radio transmission protocol is possibility of data routing through retransmission stations SR. Retransmission stations could be typical SO with an additional function of frame retransmission. This function is activated in some special circumstances, e.g. connection loss between SC and SO in the case of too big distance or some country obstacles. This was the reason for the introduction of a new version of the protocol, PTRR (section 5, Table 3), with a retransmission function embedded (Figure 4). PTRR enables also to perform the remote configuration of the communication route from SC to SO. The configuration process is described in section 5.1 of the paper (Fig. 5).

The last issue presented in the paper in section 6 is data redundancy protection of the CRC type. The protocol data is understood in the broad sense (function, address, object and control data). The mechanism enables maximal protection of address and control data. The method of generation and verification of CRC type redundancy in PTR frames realised in object stations SO is presented (Fig. 6).