

Gabriel DRABIK
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

DEKODOWANIE SYGNAŁU CZASU Z NADAJNIKA DCF-77

Streszczenie. W opracowaniu przedstawiono praktyczne podejście do problemu dekodowania i detekcji błędów w sygnale odbieranym z atomowego wzorca czasu za pośrednictwem nadajnika DCF-77.

DECODING TIME-SIGNAL FROM DCF-77 SENDER

Summary. The paper presents practical methods of decoding time signal receiving from DCF-77 sender. Particular attention is paid on detecting and correcting errors with occurrence is possible during transmission.

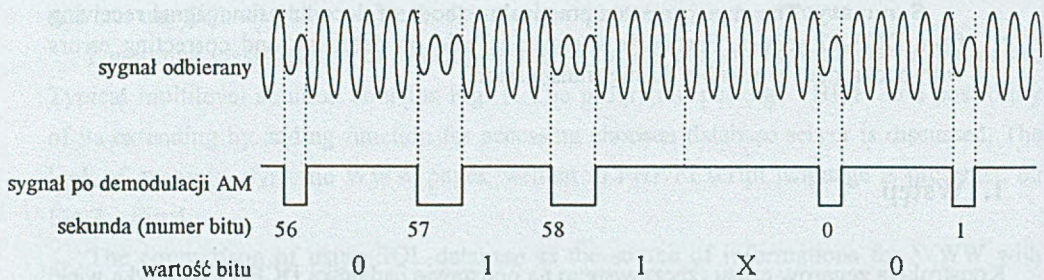
1. Wstęp

Konstrukcja zegarów czasu rzeczywistego na podstawie nadajnika DCF-77 napotyka wiele problemów. W literaturze stosunkowo często można znaleźć opisy bardzo prostych i oczywistych algorytmów dekodowania sygnału, jednak urządzenia oparte na nich charakteryzują się daleko posuniętą zawodnością. Wynika to między innymi z dużej odległości od nadajnika, lokalnych źródeł zakłóceń oraz małej skuteczności sprawdzania poprawności ramki informacyjnej za pomocą wbudowanych mechanizmów. Przedstawiona w pracy metoda dekodowania sygnału i wykrywania błędów gwarantuje znacznie większą niezawodność odbioru poprawnej informacji z częściowym uniezależnieniem od zakłóceń. Została ona zweryfikowana eksperymentami praktycznymi.

2. Zasada działania nadajnika DCF-77

Nadajnik znajduje się w Niemczech w miejscowości Mainflingen, 30 km na południowy zachód od Frankfurtu nad Menem (dokładne współrzędne geograficzne: $50^{\circ}1'N$, $9^{\circ}0'E$). Pracuje on z częstotliwością 77,5 kHz (stabilizowaną z wzorca) i mocą 50 kW, co zapewnia poprawny odbiór w promieniu 1500 km za pomocą anteny ferrytowej. Przy tak małej częstotliwości (poniżej zakresów radiowych) do transmisji nadaje się jedynie fala przyziemna, a odbicia i interferencje są pomijalnie małe, co powoduje, że zakłócenia mogą wynikać jedynie z obecności miejscowych źródeł harmoniczných 77,5 kHz. Oczywiście, przy tak małej częstotliwości przepustowość tego kanału transmisyjnego jest mała, lecz w zupełności wystarczy do przesłania potrzebnych informacji; co więcej, są one przesyłane w sposób bardzo prosty do dekodowania nawet za pomocą prostych układów TTL.

Zasada działania nadajnika jest następująca: nadajnik nadaje falę nośną o częstotliwości 77,5 kHz, której amplituda spada dokładnie na początku każdej sekundy do 25% wartości. Spadek ten trwa 0,1 lub 0,2 sekundy. Dłuższy spadek jest identyfikowany z jedyneką logiczną, a krótszy z zerem logicznym. Innymi słowy, jest to złożenie modulacji PCM (modulacja szerokości impulsu) z modulacją AM (modulacja amplitudy). Dokładnie tłumaczy to rys. 1



Rys.1. Sygnał odbierany i sygnał po demodulacji AM

Fig.1. Received signal and signal after AM demodulation

Górny rysunek przedstawia sygnał bezpośrednio odbierany, natomiast dolny sygnał po detekcji AM. Małymi liczbami zaznaczono początki kolejnych sekund minuty. Dużymi cyframi oznaczono informację binarną otrzymaną po zdekodowaniu PCM. W 59 sekundzie nie jest przekazywana żadna informacja, co oznaczono literą X. Jak widać, początek 59 sekundy każdej minuty nie jest uwidoczniiony w sygnale. Brak zbocza opadającego w chwili odpowiadającej początkowi 59 sekundy sygnalizuje, że następne opadające zbocze będzie oznaczać początek kolejnej minuty. Innymi słowy, jeżeli spadek nie wystąpi przez co najmniej 1,8 sekundy,

to następny spadek będzie oznaczać początek pierwszej sekundy kolejnej minuty. Oznacza on również początek ramki informacji składającej się z 59 cyfr binarnych kodowanych w sposób wyżej opisany. Znaczenia poszczególnych bitów przedstawia tabela 1.

Tabela 1

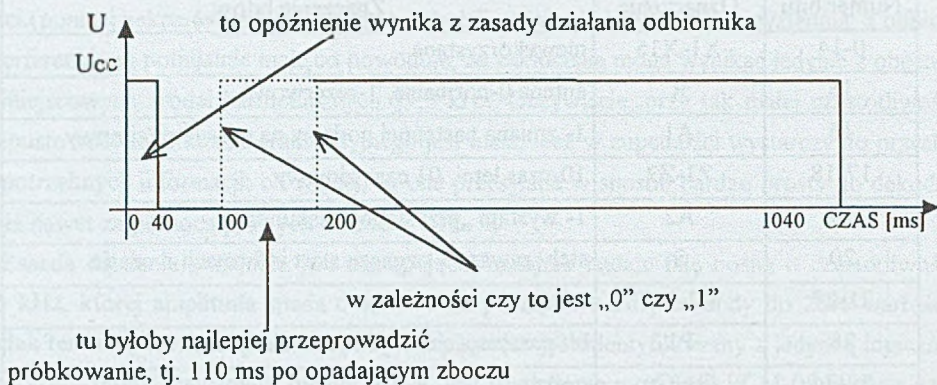
Organizacja ramki informacyjnej

Numer bitu	Oznaczenie	Znaczenie bitów
0-14	X1-X15	niewykorzystane
15	R	antena 0-normalna, 1-rezerwowa
16	A1	1- zmiana następnej godziny na czas letni/zimowy
17-18	Z1-Z2	10-czas letni, 01 czas zimowy
19	A2	1- wystąpi „przestępna” sekunda
20	S	stały zawsze 1 oznacza start informacji o czasie
21-27	M1-M7	minuty
28	P1	bit parzystości wszystkich nadanych bitów
29-34	G1-G6	godziny
35	P2	bit parzystości wszystkich nadanych bitów
36-41	D1-D6	dzień miesiąca
42-44	T1-T3	dzień tygodnia
45-49	Ms1-Ms5	miesiąc
50-57	R1-R8	roku
58	P3	bit parzystości wszystkich nadanych bitów

Wyjaśnienia: W danej minucie nadawana jest informacja o czasie, jaki będzie w następującej po aktualnej minucie. W przypadku informacji będących liczbami bity są nadawane od najmniej znaczącego do najbardziej znaczącego, przy czym bardzo ważną rzeczą są wagi poszczególnych bitów. Ponieważ powyższa ramka informacyjna była projektowana z myślą o dekodowaniu za pomocą prostych układów, dlatego też są to liczby zapisane nie w zwykłym kodzie binarnym, lecz w kodzie BCD. W przypadku miesiący liczba jeden oznacza styczeń, dwa luty i tak dalej aż do 12. Podobnie jest zakodowany dzień tygodnia, tu jako 1 przyjęto oznaczać poniedziałek. Rok jest podawany jedynie w postaci dziesiątek, bez wiadomości o wieku. Według literatury bity Z1 i Z2 dotyczą dwóch różnych obszarów czasowych, jednak literatura nie przedstawia dokładnie, o co chodzi. Faktem jest, że w okresie prawie rocznego testowania tych bitów stwierdzono tylko i wyłącznie kombinacje przedstawione w tabeli. Nie udało się stwierdzić dokładnie, na czym polega informacja o „przestępnej” sekundzie (np. czy jest podawana tylko na minutę przed, czy przez całą godzinę), gdyż taka sekunda pojawia się

niezmiernie rzadko. Podobnie z bitami X1-X15. Literatura podaje, że znaczenie tych bitów jest różne w zależności od potrzeby, jednak w czasie testowania nie stwierdzono innej ich wartości niż zera. Bity parzystości uzupełniają ciąg do parzystej liczby jedynek.

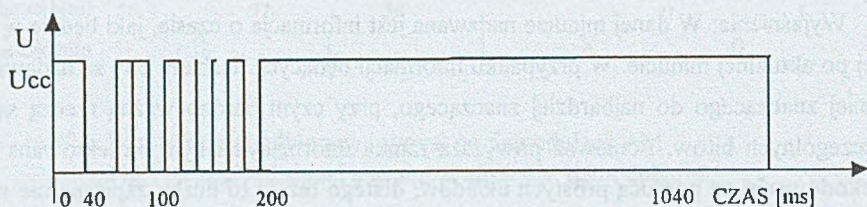
Proces dekodowania PCM jednej cyfry binarnej teoretycznie mógłby wyglądać następująco (odliczanie czasu 110 ms jest uruchamiane opadającym zboczem):



Rys. 2. Próbkowanie sygnału niezaszumionego

Fig. 2. Sampling of non-noised signal

Takie podejście do problemu jest niewątpliwie poprawne, gdyż próbkowanie jest przeprowadzone w optymalnym miejscu. Jak pokazały próby, metoda ta jest odpowiednia dla w pełni poprawnego sygnału, z czym można się spotkać dość rzadko. Na ogół przebieg sygnału wygląda tak, jak przedstawiono to na rys. 3 i 4 (przedstawiono przykładowo dla stanu „1”).

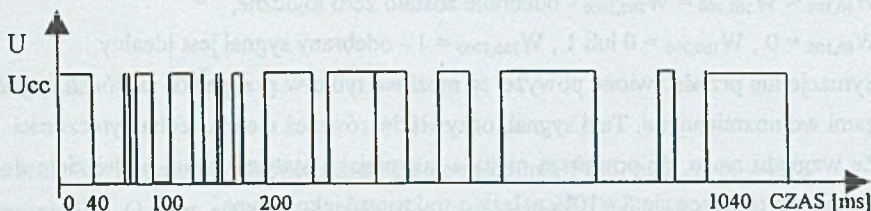


Rys. 3. Przykład sygnału zakłóconego

Fig. 3. Example of noised signal

Taki przebieg jest charakterystyczny dla słabego sygnału odbieranego lub złego ustawienia anteny. Praktycznie z tą sytuacją można się spotkać dość często, jeśli na przykład odbiornik znajduje się w budynku żelbetonowym. Mimo iż przebieg jest mocno zniekształcony, charakter zakłóceń jest taki, że objawiają się one tylko w czasie trwania stanu niskiego i mają cha-

rakter krótkich impulsów. Jak widać, tak zakłócony przebieg może być użyteczny. Wymaga to jednak zastosowania odpowiedniego algorytmu dekodowania odebranej informacji lub filtracji elektronicznej.



Rys. 4. Przykład sygnału silnie zakłóconego
Fig. 4. Example of very noisy signal

Przebieg sygnału wyjściowego w przypadku odbioru sygnału silnie zakłóconego przedstawiono na rys. 4. Oczywiście, można dopatrywać się użyteczności takiego sygnału. Rysunek zakłada jednak stosunkowo małe zakłócenie, bardzo często okazuje się, że sygnał zakłócony na charakter białego szumu. Wówczas to ani filtracja elektroniczna, ani zaawansowane algorytmy dekodowania nie pozwolą na prawidłowe rozkodowanie informacji.

3. Algorytm dekodowania PCM

Algorytm ten ma za zadanie wygenerowanie ciągu bitów w odpowiedzi na prostokątny przebieg pochodzący z odbiornika. Bazuje on na mierzeniu wypełnienia sygnału. Pomiar ten osiąga się przez próbkowanie sygnału z częstotliwością kilkuset razy na sekundę i zliczaniu liczby wystąpień zer i jedynek.

$$W_{t_1,t_2} = L_1 / (L_0 + L_1) \quad (1)$$

gdzie:

W_{t_1,t_2} - współczynnik wypełnienia przebiegu w czasie od t_1 do t_2 ,

L_1 - liczba jedynek, która wystąpiła w tym czasie,

L_0 - liczba zer, która wystąpiła w tym czasie.

Do dalszych rozważań niezbędne będą trzy liczby: $W_{40,100}$, $W_{100,200}$, $W_{200,1000}$ (opis indeksów czasu zgodnie z wykresem). Możemy mieć do czynienia z następującymi przypadkami:

$W_{40,100} = W_{100,200} = W_{200,1000} = 1$ - świadczy to o tym, że w ogóle nie odbieramy sygnału,

$W_{40,100} = W_{100,200} = W_{200,1000} < 1$ - sygnał jest bardzo mocno zakłócony i nie ma cech użyteczności,

$W_{40,100} = W_{100,200} < W_{200,1000}$ - odebrana została jedynka logiczna,

$W_{40,100} < W_{100,200} = W_{200,1000}$ - odebrane zostało zero logiczne,

$W_{40,100} = 0$, $W_{100,200} = 0$ lub 1 , $W_{200,1000} = 1$ - odebrany sygnał jest idealny

Sytuacje nie przedstawione powyżej są możliwe tylko w przypadku zakłóceń sygnału przebiegami wolnozmiennymi. Taki sygnał, oczywiście, również nie ma cech użyteczności.

Ze względu na to, że powyższa metoda jest niejako statystycznym podejściem do problemu, wartości różniące się 5 - 10% należy o traktować jako równe.

Oczywiście, żaden z algorytmów nie jest w stanie zapewnić 100% pewności poprawności dekodowania, szczególnie jeśli mamy do czynienia ze źródłem zakłóceń harmonicznym 77,5 kHz modulowanym częstotliwością około 1 Hz.

Z tego powodu warto posłużyć się bitami parzystości. Tutaj jednak pojawiają się następujące problemy:

- bitów tych jest tylko trzy (patrz tab. 1) - kontrolowane są godziny, minuty i kompletna informacja o dacie. Powoduje to, że data znacznie łatwiej ulega przekłamaniu niż reszta informacji.
- zastosowano tu tzw. parzystość "parzystą", czyli bit parzystości dopełnia liczbę jedynek w ciągu do parzystej. Zasadniczą wadą tego sposobu jest to, że w przypadku odbioru samych zer bit parzystości wydaje się poprawny.
- ogólnie kontrola parzystości jest skuteczna w przypadku przekłamań pojedynczych bitów. Powinna być stosowana tam, gdzie należy się raczej spodziewać przekłamań pojedynczych bitów. W przypadku odbioru zupełnie losowych danych bit parzystości z prawdopodobieństwem 50% okaże się prawidłowy.

Następna metoda kontroli poprawności odbioru polega na sprawdzeniu (oznaczenia jak w tab. 1) następujących zależności:

- Z1, Z2 muszą być równe odpowiednio 10 lub 01,
- S zawsze musi być równy 1,
- M1-M7 muszą dawać liczbę z zakresu $\langle 0,59 \rangle$,
- G1-G6 muszą dawać liczbę z zakresu $\langle 0,23 \rangle$,
- D1-D6 muszą dawać liczbę z zakresu $\langle 1,31 \rangle$,
- Ms1-Ms6 muszą dawać liczbę z zakresu $\langle 1,12 \rangle$,
- T1-T3 muszą dawać liczbę z zakresu $\langle 1,7 \rangle$.

Po takim sprawdzaniu wystąpienie błędu jest mało prawdopodobne. Jeśli jednak i na takie ryzyko nie można sobie pozwolić, należy przyjąć następującą zasadę: odbiera się dwie ramki informacyjne i jeśli po zdekodowaniu informacje czasowe różnią się dokładnie o jedną minutę,

to tę drugą traktuje się jako poprawną. Oczywiście w dalszym ciągu może się zdarzyć, że dwa razy pod rząd wystąpi takie samo przekłamanie, lecz jest to niezwykle mało prawdopodobne, szczególnie jeśli nie zrezygnowano z innych metod kontroli.

LITERATURA

1. Oszczak W.: Atomowy wzorzec czasu. Radioelektronik 1993, nr 2, s. 44 - 45.
2. Oszczak W.: Odbiór sygnału atomowego wzorca czasu. Radioelektronik 1993, nr 3, s. 47 - 49.
3. Zschocke B.: Precyzyjny zegar do komputera. Elektor 1993, nr 3, s. 21 - 25.
4. Electronic actuell. Spezialkatalog Frühjahr '92. Katalog firmy CONRAD ELECTRONIC.
5. Electronic actuell. Spezialkatalog '94. Katalog firmy CONRAD ELECTRONIC.

Recenzent: Dr inż. Maciej Bargielski

Wpłynęło do Redakcji 4 listopada 1997 r.

Abstract

This article presents important problems connected with using atomic time references by means of DCF - 77 sender: signal decoding and error detecting.

DCF - 77 sender is placed in Mainflingen, a short way of Frankfurt on Men. It's signal is being received in a distance up to 1500 km, that means the whole area Poland is within it's reach.

The paper includes circumstantial description of methods of signal coding (Fig. 1) together with presentation of informative frame. Special attention was paid to real terms signal decoding, that is noised signal, of which examples are presented in Fig. 3 and Fig. 4. Last part of the paper is dedicated to method of error detecting, based on signal filling measurement.

Information included in this article might be useful in construction of real time meters that are based on atomic time references.