

Tomasz CISEK, Piotr KOŁODZIEJCZYK,  
Marek WESOŁOWSKI

## METODY OPTIMALIZACJI TRANSMISJI DANYCH W SYSTEMACH SEJSMICZNYCH

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono kilka sposobów, które prowadzą do zmniejszenia ilości informacji przesyłanej pomiędzy urządzeniami systemu sejsmicznego, co w konsekwencji prowadzi do zwiększenia jego szybkości i niezawodności. Rozpatrzono następujące zagadnienia: topologię sieci, media transmisyjne, metody transmisji danych, filtrację, konwersję analogowo-cyfrową oraz metody reprezentacji poszczególnych bitów informacji. Przedstawiono metody optymalizacji każdego z ww. problemów, co w rezultacie znacznie usprawnia działanie całego systemu.

## SOME METHODS OF DATA TRANSMISSION OPTIMALIZATION IN SEISMIC SYSTEMS

**Summary.** The paper presents some methods, which can decrease a number of information transmitted among seismic systems devices, what makes the system quicker and more certain. The following subjects were considered: network topology, transmission media, transmission methods, filtration, analogue to digital conversion and methods of bits representation. Authors describe solutions of each problem, that finally raises the standard of efficiency of the whole system.

### 1. Wstęp

Nowoczesny system sejsmiczny to, najogólniej rzecz ujmując, zbiór zasobów sprzętowo-programowych rozproszonych na obszarze obserwowanej bądź przewidywanej aktywności sejsmicznej, połączonych ze sobą systemem transmisji danych. Definicja ta sugeruje, że system sejsmiczny to nic innego jak rodzaj rozproszonego systemu komputerowego

przeznaczonego do realizacji konkretnych zadań, a mianowicie monitorowania oraz predykcji zagrożenia sejsmicznego.

Stopień złożoności tak zdefiniowanego systemu jest na tyle wysoki, że wydaje się konieczne wydzielenie z niego konkretnych problemów wymagających osobnego opracowania, mając oczywiście na uwadze optymalne funkcjonowanie całości.

Jeżeli spojrzymy na system sejsmiczny z punktu widzenia przepływu informacji, to można wydzielić w nim następujące fazy:

- zamiana drgań ośrodka na zmienny w czasie sygnał elektryczny dokonywana w przetwornikach sejsmicznych (geofonach bądź akcelerometrach),
- transmisja i przygotowanie (rozumiane jako zamiana ciągłego sygnału elektrycznego na wartości dyskretne) danych do jednostki (jednostek) przetwarzającej je,
- końcowe przetwarzanie i magazynowanie danych + wizualizacja.

Rozważając zagadnienie transmisji danych, napotykamy na następujące problemy, notabene wspólne dla wszystkich komputerowych systemów kontrolno-pomiarowych, a mianowicie:

- topologia sieci,
- media transmisyjne i metody transmisji danych,
- metody dostępu współpracujących jednostek do łączy transmisyjnych,
- protokoły komunikacyjne.

## 2. Topologia sieci

W lokalnych sieciach komputerowych można stosować następujące rodzaje topologii (Grzywak A. i in., 1994):

- magistralową (każde urządzenie połączone z tym samym łączem, posiadającym dwa końce),
- pierścieniową (jw. tylko obydwie końce są połączone, w wyniku czego powstaje pierścień),
- gwiazdzistą (osobne łącze pomiędzy każdym urządzeniem a jednostką centralną tzw. arbitrem),
- drzewiastą (po kilka urządzeń w gwiazdę i tak powstałe podsystemy znowu w gwiazdę itd.),

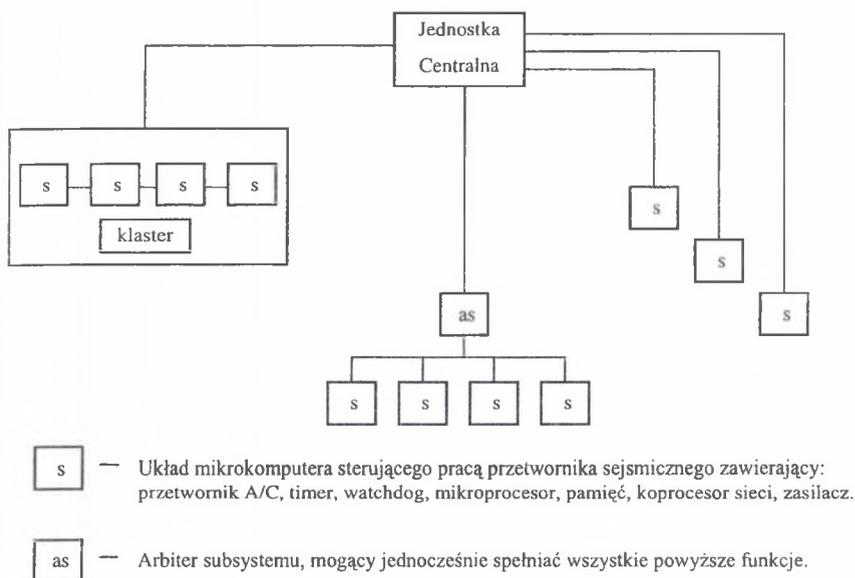
- swobodną (osobne łącza pomiędzy wszystkimi lub prawie wszystkimi urządzeniami).

W dostatecznie skomplikowanych systemach komputerowych może występować kilka rodzajów topologii, np. podsystemy - drzewiasta, system nadrzędny - magistrała itp.

W systemach sejsmicznych, w zależności od przewidywanej awaryjności łącza, możliwe do zastosowania wydają się być dwa rodzaje topologii:

- magistralowa i drzewiasta (zastosowana w wysoce zaawansowanym technologicznie systemie sejsmicznym produkowanym przez ISS International z RPA\*), z uwagi na niskie koszty realizacji, łatwą rekonfigurowalność i dobrą modularność. Należy przy tym pamiętać, że magistrała jest mniej odporna na zerwanie łącza, co w pewien sposób można poprawić stosując pełną redundancę na jego poziomie.

Przykładowe rozwiązanie przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Przykładowe rozwiązanie topologii systemu sejsmicznego

Fig. 1. An example solution of seismic system topology

\* Nazwy wszystkich firm i ich produktów wymienione w niniejszej publikacji zostały użyte jedynie w celu identyfikacji i są znakami firmowymi i towarowymi zastrzeżonymi przez ich właścicieli.

Pewną formą pośrednią pomiędzy klasyczną siecią komputerową a pojedynczą maszyną wieloprocesorową jest klaster wprowadzony na rynek w 1983 roku przez firmę Digital Equipment Corporation. Filozofia klastra polega na takim połączeniu, fizycznym i logicznym, współpracujących ze sobą jednostek, że jest on z punktu widzenia użytkownika przezroczysty, tzn. użytkownik nie wie, na której z maszyn jest wykonywana dana część procesu w danej chwili. Technologia ta jest wysoce niezawodna, ponieważ awaria którejkolwiek z maszyn nie powoduje przerwania pracy systemu (teoretycznie wszystkie maszyny z wyjątkiem jednej mogą ulec awarii), a zarazem o niskim koszcie realizacji i jest z powodzeniem stosowana jako forma konfiguracji tzw. Przetwarzających Sejsmometrów (ang. Processing Seismometer) przez firmę ISS International z RPA (Mendecki A., 1997).

Stosując kombinację powyższych rozwiązań uzyskujemy znaczne zmniejszenie ilości przesyłanej informacji, a co za tym idzie rośnie szybkość i niezawodność działania systemu.

### 3. Media transmisyjne

Do transmisji sygnałów można stosować następujące media transmisyjne:

- para przewodów równoległych,
- para przewodów spleających się ze stałym skokiem tzw. skrętka,
- kabel koncentryczny,
- światłowód.

Porównując cechy funkcjonalne powyższych rodzajów mediów, można dojść do wniosku, że w przypadku systemu sejsmicznego optymalnym rozwiązaniem jest zastosowanie kabla koncentrycznego i transmisji w paśmie szerokim lub światłowodu. Oba te rozwiązania charakteryzują się dużą odpornością na zakłócenia, dużym zasięgiem i prędkością transmisji. Światłowód jest tutaj zdecydowanie lepszy, należy jednak pamiętać o konieczności konwersji systemów elektrycznych na optyczne oraz o jego małej odporności mechanicznej. Ostatnią wadę można korygować stosując wzmocnienie mechaniczne (np. oplót z drutów stalowych), tworzące konstrukcję nośną.

W przypadku transmisji na powierzchni można stosować różne formy transmisji radiowej z satelitarną włącznie, dotyczy to jednak przypadków

wymiany danych pomiędzy poszczególnymi systemami lokalnymi na poziomie systemu regionalnego bądź szerszego.

#### 4. Transmisja sygnałów

Do przesyłu danych pomiędzy przetwornikiem sejsmicznym a jednostką, która je przetwarza i magazynuje, stosuje się obecnie następujące metody:

- analogowe, a wśród nich:
  - transmisja w paśmie naturalnym z modulacją prądu linii,
  - transmisja z modulacją częstotliwości,
- cyfrowe, wśród których wyróżniamy:
  - ciągle,
  - pakietowe z buforowaniem (ang. store and forward).

Transmisja w paśmie naturalnym polega na prostym wzmocnieniu sygnału i przesłaniu go do odbiorcy (TSS prod CEiAG EMAG Katowice). Metoda ta jest najmniej odporna na zakłócenia i ma sens w przypadku bardzo małych odległości, np. do ok. kilkunastu metrów od przetwornika sejsmicznego zamontowanego w górotworze do przetwornika A/C i mikroprocesora umieszczonego w wyrobisku.

Transmisja z modulacją częstotliwości (Thermionic, Górnik PCM) polega na zmianie częstotliwości sygnału nośnego w zależności od zmiany amplitudy sygnału użytecznego. Jest lepsza od transmisji w paśmie naturalnym, jednak zdecydowanie przegrywa w porównaniu z metodami cyfrowymi.

Metody ciągle polegają na tym, że sygnał poddawany jest konwersji A/C po stronie czujnika, a następnie wartości cyfrowe są transmitowane do jednostki centralnej. Wymaga to medium transmisyjnego o odpowiednio wysokiej prędkości transmisji na żądane odległości oczywiście przystosowanego do pracy w podziemiach kopalń (przykładem może być CYTES - system cyfrowej transmisji sygnałów sejsmicznych dostosowany do współpracy z systemem "ARAMIS" zastosowany na KWK "Wujek").

Z kolei metody pakietowe z buforowaniem polegają na tym, że sygnał po poddaniu konwersji A/C jest tymczasowo buforowany i wysyłany w odpowiednim czasie w postaci pakietu. Wymagają odpowiedniego sprzętu,

tj. modułów pamięci i procesora sterującego dostępem do nich (ISS Intrenational Ltd. Republika Południowej Afryki).

Porównanie wyżej wymienionych systemów cyfrowych wypada na korzyść tego ostatniego. Spowodowane jest to natłokiem nieprzetworzonej informacji, która w przypadku transmisji ciągłej jest transmitowana do jednostki centralnej. W przypadku buforowania istnieje możliwość, a wręcz konieczność wstępnego przetwarzania danych, co znacznie odciąża system transmisji, a co za tym idzie jednostkę centralną. Chodzi tutaj o wydzielenie sejsmogramu z tła oraz o wstępną lokalizację hipocentrum.

## 5. Filtracja i konwersja A/C

Niezależnie od stosowanego systemu transmisji ciągły sygnał elektryczny, jaki otrzymujemy na wyjściu z przetwornika sejsmicznego, musi zostać poddany konwersji analogowo-cyfrowej przed poddaniem go obróbce w maszynie cyfrowej. W przypadku stosowania rozproszonego systemu przetwarzania informacji sejsmicznej konwersja A/C musi dokonać się możliwie blisko przetwornika sejsmicznego, co ma również kolosalne znaczenie z punktu widzenia jakości sygnału w procesie jego transmisji.

W procesie konwersji sygnału ciągłego na sygnał dyskretny może on zostać zniekształcony w wyniku zjawiska zwanego w literaturze międzynarodowej „aliasing”, polega ono na zachodzeniu na siebie segmentów widm. Aby tego uniknąć, stosuje się impulsy próbkujące o wystarczająco dużej częstotliwości lub ogranicza się pasmo sygnału przez odpowiednią filtrację (Kulka Z. i in., 1987). Z uwagi na wysokie koszty przetwornika A/C o dostatecznie dużej częstości próbkowania znaczny wzrost liczby bitów do transmisji i przetworzenia, jak również znikomą ilość informacji użytecznej, z punktu widzenia sejsmologii, jaka jest zawarta w górnej części widma sygnału, stosuje się rozwiązanie polegające na zastosowaniu filtra dolnoprzepustowego o możliwie ostrej charakterystyce amplitudowo-częstotliwościowej. W przypadku sygnałów sejsmicznych najlepszym rozwiązaniem wydaje się być wstępna filtracja analogowa, a następnie, już po konwersji a/c, zastosowanie filtra cyfrowego w celu polepszenia charakterystyki.

Parametry przetwornika A/C powinny przede wszystkim określać, z jaką dokładnością i szybkością odbywa się ten proces. Dlatego wśród wielu grup parametrów za najważniejsze należy uznać parametry metrologiczne. W przypadku współpracy przetwornika A/C z przetwornikiem sejsmicznym dobór tego pierwszego polega na dostosowaniu jego parametrów do parametrów sygnału wyjściowego z np. geofonu oraz na sprecyzowaniu, jakie widmo sygnału sejsmicznego ma znaczenie w procesie obróbki danych sejsmicznych. Należy przy tym pamiętać, że zwiększenie częstości próbkowania prowadzi do znacznego wzrostu liczby bitów informacji, dlatego parametr ten należy tak dobrać, aby dostatecznie wiernie odtworzyć dominującą w widmie częstotliwość. Zależy ona w dużej mierze od odległości hipocentrum od detektora (znaczące tłumienie wysokich częstotliwości przez górotwór).

Najlepsze rezultaty zmniejszające ilość transmitowanej informacji można osiągnąć stosując zmienną częstotliwość próbkowania. W systemie ISS przebiega to następująco: częstotliwość początkowa jest dostosowana do częstotliwości przetwornika sejsmicznego, a następnie podczas obróbki może być obniżona nawet 25 razy w zależności od dominującej częstotliwości sygnału.

## 6. Metody reprezentacji informacji w transmisji cyfrowej

Naturalnym sposobem reprezentacji ciągu bitów jest przyjęcie poziomu 0V dla reprezentacji „0”, a napięcia  $+U$  dla „1”. Rozwiązanie to, wraz z jego odmianami, ma istotną wadę - a mianowicie nie pozwala na rozróżnianie ilości przesyłanych kolejno bitów o jednakowej wartości, co powoduje trudności z synchronizacją oraz zniekształcenia sygnału przy przejściu przez układy eliminujące składową stałą. Do usunięcia tej wady opracowano różne sposoby reprezentacji pojedynczych bitów sekwencją stanów (parą duobitów). Do wybranych przykładów reprezentacji można zaliczyć:

- modulację RZ (Return to Zero),
- modulację PE (Phase Encoding) zwaną kodem Manchester oraz jej odmianę Manchester różnicowy,
- impulsową modulację częstotliwości FM wraz z modyfikacją MFM,

- rozwiązania bardziej złożone polegające na reprezentacji pojedynczego bitu sekwencją czterech stanów.

Przy transmisji światłowodowej stosowana jest modulacja impulsów typu Manchester.

W przypadku systemu sejsmicznego istnieje duże prawdopodobieństwo, że sygnał sejsmiczny będzie przechodził przez układy separujące w celu spełnienia kryterium iskrobezpieczeństwa, więc aby uniknąć zniekształceń, trzeba stosować metodę kodowania, w wyniku której dostajemy sygnał o wartości średniej równej zero. Warunki te spełnia kod Manchester i Manchester różnicowy oraz kody reprezentujące pojedynczy bit sekwencją czterech stanów. Należy jednak pamiętać, że w ostatnim przypadku spadnie prędkość transmisji z uwagi na wzrost liczby bodów, tzn. liczby zmian poziomu sygnału na sekundę.

Podstawowe rozwiązania elektryczne dotyczące transmisji określone są przez specyfikacje zalecane przez CCITT i EIA. Są to zalecenia znane pod numerami V28, V10, V11, X26, X27, RS-232C, RS-422, RS-423, RS-485 (Mielczarek W., 1993).

W przypadku systemów sejsmicznych, gdzie transmisja odbywa się na znaczne odległości (kilka kilometrów) oraz jest wymagana transmisja w obydwu kierunkach, najlepszymi rozwiązaniami wydają się być RS-422A oraz RS-485. Obydwa przewidują: transmisję w pełni różnicową z niezależną parą przewodów dla transmisji sygnału, maksymalną szybkość transmisji do 10 Mbitów/s na odległość do 10 m i 300 kbitów/s na odległość do 1000m. Różnica pomiędzy nimi polega na tym, że zalecenie RS-485 przewiduje możliwość podłączenia do 32 abonentów. Rozwiązanie odpowiadające zaleceniu RS-422 zostało zastosowane do transmisji sygnałów przez ISS International Ltd.

## 7. Wnioski

Na podstawie powyższych rozważań dochodzimy do wniosku, że by zwiększyć szybkość oraz niezawodność działania systemu sejsmicznego, konieczne jest usprawnienie systemów transmisji i akwizycji danych. Aby to osiągnąć, należy rozpatrzyć następujące zagadnienia:

1. Topologia sieci - poprzez przejście na topologię kombinowaną z elementami drzewiastej i magistralowej oraz na zastosowaniu idei

- klastra, zyskujemy na ilości informacji transmitowanej siecią, odciążeniu jednostki centralnej oraz niezawodności działania systemu (mniej informacji do transmisji to mniejsza możliwość wystąpienia błędu transmisji, a więc mniej retransmitowanych informacji, co znacząco wpływa na szybkość działania systemu).
2. Media transmisyjne - poprzez zastąpienie tradycyjnych przewodów teletechnicznych światłowodami lub transmisją szerokopasmową kablem koncentrycznym uzyskujemy znaczny wzrost szybkości transmisji (niezawodność w przypadku transmisji cyfrowej przekłada się w prosty sposób na szybkość działania systemu transmisji, ponieważ wykrycie błędu powoduje dodatkową wymianę informacji w celu jego korekty).
  3. Filtracja i konwersja A/C - poprzez wprowadzenie ostrej filtracji, jak również zmiennej częstotliwości próbkowania w zależności od dominującej częstotliwości sygnału uzyskujemy również znaczne zmniejszenie liczby bitów informacji użytecznej.
  4. Kodowanie - poprzez wprowadzenie reprezentacji pojedynczych bitów sekwencją stanów (parą duobitów) eliminujemy kłopoty z synchronizacją oraz umożliwiamy przesył sygnałów przez transformatory separujące.
- Dodatkowo metoda transmisji powinna odpowiadać międzynarodowym standardom, np. RS-485 w celu umożliwienia integracji lokalnych systemów sejsmicznych oraz innych mikroprocesorowych systemów przemysłowych działających w kopalni.

## Literatura

1. Grzywak A. i inni: Rozproszone systemy komputerowe. Praca zbiorowa. Wyd. PRO-net, Gliwice 1994.
2. Kulka Z., Libura A., Nadachowski M.: Przetworniki A/C i C/A. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1987.
3. Mendecki A.J.: Seismic monitoring in mines. Wyd. Chapman & Hall, London 1997.
4. Mielczarek W.: Szeregowe interfejsy cyfrowe. Wyd. Helion. Gliwice 1993.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Józef Dubiński

Wpłynęło do Redakcji 10.10.1997 r.

**Abstract**

When we look at seismic system as an industrial computer network and at each seismic station as a full subscriber of this network, we can consider some aspects of improving data transmission within the system. One of them is a choice of network topology which allows us to make a part of processing on lower levels of the system (out of the central processing site). Another one is to use an optical fibre or broadband concentric cable for data transmission, which makes the transmission quicker. Another subjects are choice an anti-aliasing filter and analogue to digital converter (specially a sampling rate), which allows us to produce a more accurate data. The last problem discussed in this paper is a choice of a method of information bits representation that is very important in case of synchronisation of messages.