

# TRANSPUTEROWY SYSTEM DLA ZŁOŻONYCH ZADAŃ STEROWANIA W CZASIE RZECZYWISTYM

Numer projektu: 8 S505 001 06, termin zakończenia 31.12.95  
Kierownik projektu: prof. PRz dr hab. inż. Marian Wysocki\*

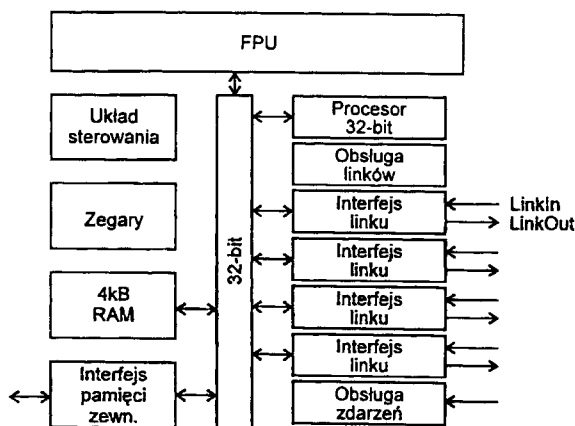
## 1. CEL I ZAKRES PRAC

Celem projektu jest opracowanie sprzętowych, algorytmicznych i programowych narzędzi dla wieloprocesorowego sterowania w oparciu o sieć transputerów oraz przedstawienie zastosowań. Przewidywane podstawowe elementy wyniku końcowego to:

- rozwiązania sprzętowe kart transputerowych sprzężenia z kamerą CCD, A/C, komunikacji RS-232 i Centronics,
- rozwiązania programowe w postaci oprogramowania warstwy komunikacji w sieci transputerowej oraz interfejsu pomiędzy siecią transputerów a pakietem MATLAB,
- reprezentatywne układy sterowania.

Trzy pierwsze rozdziały niniejszego opracowania stanowią wprowadzenie do zagadnień inżynierii transputerowej, trzy kolejne zaś charakteryzują prowadzone aktualnie prace.

## 2. TRANSPUTER

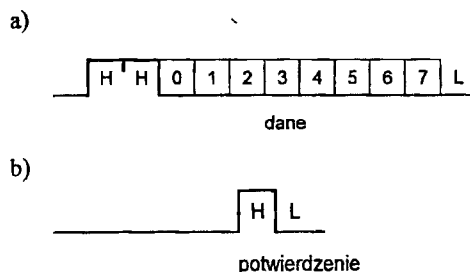


Rys. 1. Schemat blokowy transputera T800.

\*) Przedstawione prace zostały wykonane przez zespół: M. Wysocki, B. Kwolek, M. Podsiadło, J. Simčák, Z. Sowa z Katedry Automatyki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej.

Transputer jest jednokładowym komputerem produkowanym przez firmę INMOS. Nazwa pochodzi od połączenia słów TRANSmitter + comPUTER, i wskazuje na możliwość łatwego komunikowania się urządzeń tego typu między sobą. Pierwszy transputer o symbolu T222 pojawił się w roku 1984 jako układ 16-bitowy. Transputery najnowszej generacji noszą nazwę T9000. We wszystkich transputerach została zachowana ogólna koncepcja architektury, charakteryzującej się dwoma rozwiązaniami. Pierwsze odnosi się do sprzętowego wsparcia współbieżności, dzięki czemu dowolna liczba procesów współbieżnych może być wykonywana na jednym transputerze w układzie z podziałem czasu. Drugie rozwiązanie zapewnia możliwość komunikacji i synchronizacji z innymi transputerami.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat 32-bitowego transputera T800 [1]. Godne uwagi jest występowanie czterech szybkich kanałów komunikacyjnych tzw. linków i możliwość równoległej pracy CPU, FPU (o ile występuje) i linków. Komunikacja przez link jest dwukierunkowa, asynchroniczna. Odbywa się bajtowo z potwierdzeniem każdego bajtu, jak pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Transmisja przez link a) przesłanie bajtu danych, b) potwierdzenie.

Każdemu linkowi odpowiada dwuprzewodowe połączenie LinkIn i LinkOut. Poziomy elektryczny sygnał jest zgodny z TTL. Szybkość transmisji do 20 Mbit/s. W transputerze T9000 linki są czteroprzewodowe. Połączeniom LinkIn i LinkOut towarzyszy sygnał strobowy, a szybkość transmisji wynosi 100 Mbit/s. Taki link nosi nazwę DS (data strobe) w odróżnieniu od tradycyjnego OS (over sampled). Wiadomości są przekazywane w formie pakietów [2].

Oprócz transputerów firma INMOS produkuje urządzenia pomocnicze. Należy tu zwłaszcza przełącznicę krzyżową oraz tzw. adapter linku pozwalający na łączenie transputera z innymi urządzeniami. Zestawienie produktów z rodziny transputerów zamieszczono w tab.1.

### 3. JĘZYK OCCAM

Podstawowym językiem transputera jest occam. Rozwiązania sprzętowe transputera i rozwój języka następowały równocześnie, stąd occam jest nieodwrotnie związany z transputerem, a programy w occamie są wykonywane na transputerze w sposób bardzo efektywny. Wynika to stąd, że w większości przypadków instrukcja occamu odpowiada jednemu rozkazowi lub krótkiej sekwencji rozkazów maszynowych. Ponadto transputer ma cechy architektury typu RISC, a najczęściej wykonywane rozkazy są jednobajtowe.

Podstawowym elementem programu w occamie jest proces, tzn. każda instrukcja stanowi proces (p). Podstawowe instrukcje zestawiono w Tab. 2. Osobliwością w stosunku do tradycyjnych języków są instrukcje komunikacji oraz współbieżnego (równoległego) wykonywania programów. Dokładniejszy opis języka można znaleźć np. w [4,6].

Tab. 1. Produkty z rodziny transputerów firmy INMOS. \*) aktualnie produkowany.

| Oznaczenie | Funkcja               | Liczba linków | Wewn. pamięć RAM | Uwagi                                       |
|------------|-----------------------|---------------|------------------|---------------------------------------------|
| T212       | Transputer            | 4             | 2kB              | 16-bit                                      |
| T222       | "                     | 4             | 4kB              | 16-bit                                      |
| T225*      | "                     | 4             | 4kB              | 16-bit                                      |
| T400*      | "                     | 2             | 2kB              | 32-bit, tania wersja                        |
| T414       | "                     | 4             | 2kB              | 32-bit                                      |
| T425*      | "                     | 4             | 4kB              | 32-bit                                      |
| T800       | "                     | 4             | 4kB              | FPU                                         |
| T801*      | "                     | 4             | 4kB              | FPU, oddzielna magistrała danych i adresowa |
| T805*      | "                     | 4             | 4kB              | FPU                                         |
| T9000*     | "                     | 4             | 16kB             | FPU, Cache, procesor kanałów wirtualnych    |
| M222       | sterownik dysku       | 2             | 2kB              | 16-bit, specjalny zbiór rozkazów            |
| C011*      | adapter linku         | 1             | —                | dla linku DS                                |
| C012*      | "                     | 1             | —                |                                             |
| C101*      | "                     | 1             | —                |                                             |
| C100       | konwerter protokołu   | 1             | —                | DS/OS                                       |
| C004*      | przełącznica krzyżowa | —             | —                | dla linków DS                               |
| C104*      | "                     | —             | —                |                                             |

#### 4. PRACA TRANSPUTERA W CZASIE RZECZYWISTYM

Sprzętowe rozwiązanie transputera stawia do dyspozycji użytkownika dwa poziomy priorytetów: wyższy i niższy. Każdemu poziomowi jest przyporządkowany odrębny zegar. Impuls zegara na wyższym poziomie priorytetu pojawia się co 1 $\mu$ s, na niższym co 64 $\mu$ s. W przypadku, gdy na poziomie wyższym występuje tylko jeden proces, można określić maksymalny gwarantowany czas reakcji na zdarzenie, wynikający z przejścia do procesu o priorytecie wyższym. Dla transputera T800 pracującego z częstotliwością 20Mhz wynosi on 3.9  $\mu$ s w sytuacji aktywności FPU, 2.9  $\mu$ s, gdy FPU jest nieaktywna i 0.95  $\mu$ s przeciętnie. Połączenie procesów w ramach jednego poziomu priorytetów trwa na ogół krócej niż 1  $\mu$ s, możliwe jest jednak tylko w przypadku rozkazów, po wykonaniu których nie trzeba zapamiętywać rejestrów transputera. Przełączenie procesów jest więc bardzo szybkie. Jednak to, kiedy określone procesowi zostanie przydzielony procesor, zależy od długości kolejki procesów gotowych do wykonania. W tym przypadku, sprzętowy układ priorytetów musi zostać zastąpiony programowym, który zapewni w szczególności, że każdy proces po pewnym określonym maksymalnym czasie przejdzie w stan nieaktywny.

Tab. 2. Najważniejsze instrukcje occamu.

| Instrukcja                                    | Notacja occamu                              |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|
| przypisanie                                   | $x :=$ wyrażenie                            |
| wykonanie procesów sekwencyjnych              | SEQ<br>p1<br>p2                             |
| wykonanie procesów współbieżnych              | PAR<br>p1<br>p2                             |
| komunikacja przez kanał<br>wysłanie<br>odbior | kanał ! wyrażenie<br>kanał ? x              |
| alternatywny wybór                            | ALT<br>kanał ? x1<br>p1<br>kanał ? x2<br>p2 |
| pętla                                         | WHILE warunek<br>p                          |
| rozgałęzienie                                 | IF<br>warunek 1<br>p1<br>warunek 2<br>p2    |
| proces powtarzany                             | p(i) i=wartość pocz. FOR liczba powtórzeń   |
| instrukcja pusta                              | SKIP                                        |
| komentarz                                     | -- to jest komentarz                        |

Occam umożliwia odpowiednie rozwiązania przez zastosowanie zmiennych logicznych blokujących komunikację przez kanał oraz priorytetyzowaną konstrukcję ALT (PRI ALT) ustalającą pierwszeństwo w przypadku gotowości większej liczby kanałów. Wyjaśnia to następujący program

```

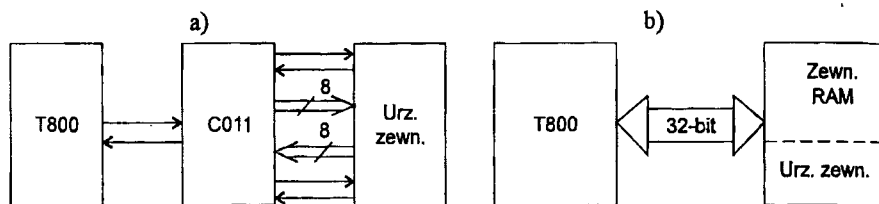
WHILE tak
  PRI ALT i=0 FOR n
    aktywny[i] & kanał[i] ? wiadomość[i]
    ... proces(i)

```

Procesy proces(i),  $i=0,1,\dots,n-1$  z obniżającym się wraz ze wzrostem i priorytetem są uruchamiane cyklicznie (o ile tak=TRUE). Zmienne logiczne aktywny[i] umożliwiają dodatkowo wybór aktywnych procesów.

## 5. ROZWIĄZANIA SPRZĘTOWE

W rozwiązaniach sprzętowych związanych ze sprzężeniem transputera ze sterowanym procesem wykorzystuje się zazwyczaj dwie możliwości. Pierwsza polega na zastosowaniu adaptera linku, druga na odwzorowaniu urządzeń w zewnętrznej pamięci transputera. Przedstawia to rys. 3.



Rys. 3. Sprzężenie transputera T800 z urządzeniami zewnętrznymi a) przez adapter linku C011, b) przez odwzorowanie w pamięci zewnętrznej.

Adapter linku zamienia zawartość 8-bitowego portu w sygnał szeregowy transmisji przez link, albo wejście z linku na wyjście równoległe. Transmisja odbywa się w układzie z potwierdzeniami.

Dołączanie pamięci zewnętrznej do transputera ułatwia jego programowalny interfejs pamięci zewnętrznej. Podstawowe zadanie interfejsu polega na wyznaczeniu czasu trwania każdej z sześciu faz charakterystycznych dostępu do pamięci (chodzi tu o czas ustawienia adresu, przetrzymania adresu, ustawienia danych przy zapisie, przetrzymania, odczytu lub zapisu, przetrzymania danych lub zwolnienia magistrali) oraz wytworzeniu odpowiednich sygnałów strobowych.

Konfigurowanie interfejsu może się odbywać z pamięci wewnętrznej, zewnętrznej pamięci ROM lub układu PAL. Najbardziej typowe możliwości zostały zakodowane wewnętrznie.

W ramach przedstawionego projektu przewiduje się opracowanie, wykonanie oraz oprogramowanie następujących układów:

- karty sprzężenia transputera z kamerą CCD o rozdzielczości 256x256 lub 512x512 pikseli z pamięcią SRAM oraz komunikację przez adapter C011 i link, i w drugiej wersji z pamięcią SRAM w obszarze pamięci zewnętrznej transputera,
- karty wielokanałowego przetwornika A/C,
- karty interfejsu RS-232,
- karty interfejsu Centronics.

## 6. ROZWIĄZANIA PROGRAMOWE

W ramach przedstawionego grantu przewiduje się opracowanie następującego oprogramowania:

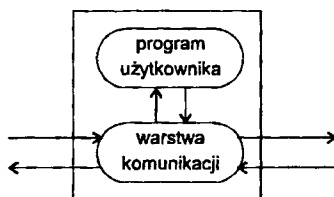
- warstwy komunikacji w sieci transputerowej,
- interfejsu transputer/MATLAB.

### Warstwa komunikacji

Wielokrotnie zachodzi konieczność wysyłania wiadomości do procesora nie połączonego bezpośrednio z procesem wysyłającym. Potrzeba wówczas odpowiedniego oprogramowania tworzącego warstwę komunikacji, umożliwiającą wymianę informacji pomiędzy dwoma

dowolnymi procesorami w sieci. W każdym z transputerów są wtedy wykonywane współbieżne dwa procesy: jeden związany z programem użytkownika, drugi odpowiedzialny za komunikację. Pokazuje to rys. 4. Odpowiada mu następująca konstrukcja oprogramowania w języku occam:

```
PRI PAR
  WHILE TRUE
    ... warstwa komunikacji
    ... proces użytkownika
```



Rys. 4. Powiązanie programu użytkownika z warstwą komunikacji.

Moduł użytkownika posiada własne kanały dla przesyłania informacji. W warstwie sieciowej wszystkie wiadomości posiadają ten sam protokół uwzględniający adres przeznaczenia i źródła, typ i wielkość wiadomości oraz dane. Przesyłanie bazuje na informacjach zawartych w tablicach tras, zbudowanych w zależności od struktury sieci.

### Interfejs transputer - MATLAB

Zbudowanie interfejsu stwarza następujące możliwości:

- przygotowanie w systemie MATLAB danych do obliczeń transputerowych,
- wywoływanie programów transputerowych w systemie MATLAB, również w celu przyspieszenia obliczeń,
- wizualizacja wyników obliczeń transputerowych.

Aktualnie przygotowywane rozwiązanie polega na modyfikacji programu iserver.exe (DOS) służącego do załadowania i uruchomienia wykonywalnego kodu programu transputerowego oraz interpretacji poleceń przesyłanych z transputera i wywołaniu odpowiednich funkcji systemu DOS. Zmodyfikowany program pracuje w systemie WINDOWS i wykorzystuje opracowaną bibliotekę umożliwiającą przesyłanie i odczyt danych do/z MATLAB'a.

Wywołanie w systemie MATLAB ma postać

```
[a,b,c,...] = iserverm("nazwa",e,t,g,...)
```

gdzie nazwa oznacza plik typu .bt1 z wykonywalnym programem transputerowym. Sposób wywołania nowych procedur komunikacji w programach transputerowych jest zgodny z obowiązującym dla procedur biblioteki hostio.lib występującej w pakiecie Occam 2 Toolset [3].

## 7. ZASTOSOWANIA

Dotychczasowe prace dotyczące zastosowań obliczeń transputerowych skupiają się na dwóch zagadnieniach. Pierwsze odnosi się do wyznaczenia bezkolizyjnej trajektorii i sterowania robotem mobilnym na podstawie informacji wizyjnej ze statycznej kamery, drugie dotyczy filtru Kalmana dla estymacji prądów zwarciovych w sieciach elektroenergetycznych.

## Wyznaczenie bezkolizyjnej trajektorii

Wstępne rezultaty prac omówiono w [7]. Rozważany problem polega na tym, że kamera CCD fotografuje obraz płaskich przeszkód stanowiących otoczenie robota mobilnego, a system transputerowy wyznacza bezkolizyjną trajektorię łączącą dwa zadane punkty na płaszczyźnie i steruje przejściem robota po tej drodze. Zadanie rozwiązywano dla robota o dwóch stopniach swobody imitowanego przez pisak rejestratora (x,y), sterowanego za pośrednictwem przetworników C/A oraz dla miniaturowego robota laboratoryjnego Khepera sterowanego przez łącze RS-232. Trajektorię wyznaczano metodą programowania dynamicznego. Wykorzystywano układ z transputerami T800. Obliczenia trajektorii wykonywano również na transputerze T9000.

## Filtr Kalmana

Rozważano filtr adaptacyjny zbudowany z kilku pracujących równolegle filtrów Kalmana wykorzystujących ten sam sygnał pomiarowy prądu zwarciovego. Każdy filtr jest zaprojektowany dla innej stałej czasu składowej aperiodycznej mierzonego przebiegu. Wartość wyjściową estymaty wyznacza się według zasady maksimum prawdopodobieństwa a posteriori. Szczegóły rozwiązania omówiono w pracy [6]. Zbudowano układ laboratoryjny z transputerem T800 i przetwornikiem A/C. Szybkość obliczeń pozwoliła na próbkowanie z częstotliwością 1200 Hz. Równoległy filtr adaptacyjny okazał się znacznie dokładniejszy od zwykłego filtra Kalmana i filtra rozszerzonego. Podjęcie właściwej decyzji przez układ zabezpieczeniowy jest możliwe przed upływem 15 ms od chwili awarii.

## LITERATURA

1. INMOS, Transputer Databook, 1989.
2. INMOS, T9000 Transputer Hardware Reference Manual, 1993.
3. INMOS, Occam Toolset: User Manual, 1990.
4. Pountain D., May D., A tutorial Introduction to Occam Programming, INMOS BSP Professional Books, Oxford 1988.
5. Sowa Z., Wysocki M., Using adaptive Kalman filtering for estimation of short circuit currents in power system, System Modelling Control, Zakopane 1995, Vol 2, 259-264.
6. M. Wysocki, Kwolek B., Obliczenia równoległe i transputery w automatyce, Wyd. PRZ, Rzeszów 1994.
7. M. Wysocki, B. Kwolek, J. Simčák, M. Podsiadło, Transputer based motion planning of a laboratory mobile robot, 2nd International Scientific Colloquium CAE Techniques, Bielefeld, 1995 (w druku).