

Andrzej KWIECIEŃ  
Krzysztof TANNENBERG

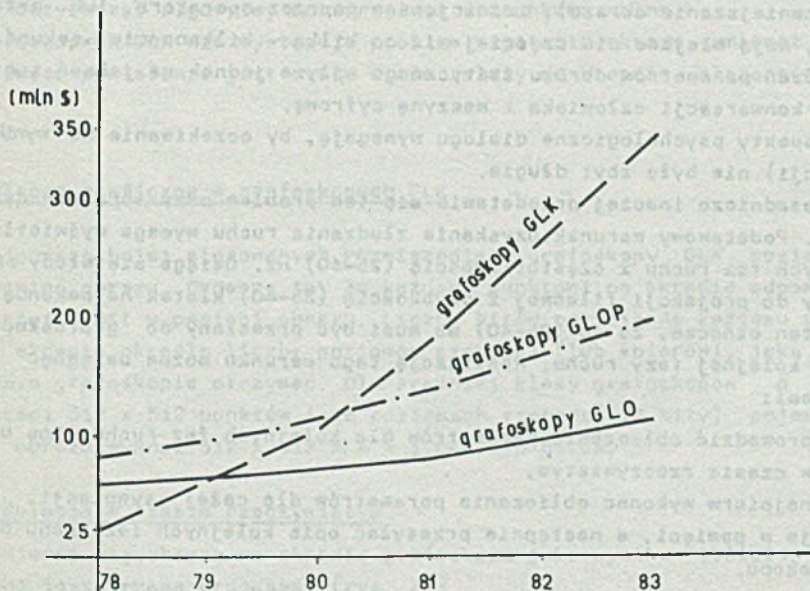
## GENERACJE OBRAZÓW DYNAMICZNYCH W SYSTEMACH KOMPUTEROWYCH

**Streszczenie.** W artykule omówiono możliwości otrzymywania obrazów dynamicznych w różnych typach grafoskopów. Przedstawiono rozwiązania zrealizowane w czasie rzeczywistym i "off-line" w oparciu o pamięć masową.

Omówiono nie rozwiązane dotychczas (w sposób zadowalający) problemy ograniczeń czasowych, szybkości transmisji i pojemności pamięci.

### 1. Wprowadzenie

Graficzne urządzenia we/wy maszyn cyfrowych są coraz powszechniej stosowane w informatyce. Przewiduje się [1], że w najbliższych trzech latach ich ilość podwoi się, a roczna wartość sprzedawanych grafoskopów wyniesie 600 mln dolarów (rys. 1). Popularność grafoskopów wynika z bardzo dużej ilości informacji, którą zawiera rysunek (obraz). W [1] ocenia się, że rysunek zastępuje około 1000 słów opisu.



Rys. 1. Wartość sprzedawanych grafoskopów w latach 1978-1983

Z różnych typów grafoskopów trzy rodzaje są obecnie dominujące:

- grafoskopy z lampą kineskopową GLK (ang. raster displays, scan displays),
- grafoskopy z lampą oscyloskopową GLO (ang. line drawing displays, calligraphic displays, random access displays),
- grafoskopy z lampą oscyloskopową z pamięcią GLOP (ang. storage tube displays).

Charakterystyki poszczególnych typów znaleźć można w [4], [5].

## 2. Klasyfikacja obrazów

Obrazy otrzymywane w grafoskopach podzielić można na obrazy statyczne i obrazy dynamiczne. Przez obrazy statyczne rozumiemy obrazy nieruchome. Obrazy statyczne mogą ulegać modyfikacjom (zmianom), lecz zmiany te nie stwarzają złudzenia płynnego ruchu. Cechą charakterystyczną obrazów dynamicznych jest uzyskanie złudzenia płynnego ruchu. Proces obliczeń, w wyniku którego otrzymuje się obrazy dynamiczne, nazywać będziemy symulacją graficzną.

Obrazy statyczne nie narzucają systemowi graficznemu wyraźnych i ostrych wymagań czasowych. Raz obliczone parametry definiujące obraz wprowadzone są jednorazowo do pamięci obrazu, a następnie poprzez czytanie zawartości pamięci następuje odświeżanie obrazu z częstotliwością 30 Hz, 40 Hz lub 60 Hz. Modyfikacje obrazu (np. dodanie lub usunięcie elementu obrazu, zmniejszenie obrazu), zainicjowane przez operatora lub przez program, mają miejsce nie częściej niż co kilka - kilkanaście sekund. Czas obliczeń parametrów obrazu statycznego wpływa jednak na jakość i efektywność konwersacji człowieka z maszyną cyfrową.

Aspekty psychologiczne dialogu wymagają, by oczekiwanie na wynik (czas reakcji) nie było zbyt długie.

Zasadniczo inaczej przedstawia się ten problem przy obrazach dynamicznych. Podstawowy warunek uzyskania złudzenia ruchu wymaga wyświetlania kolejnych faz ruchu z częstotliwością (25-40) Hz. Osiąga się wtedy efekt podobny do projekcji filmowej z szybkością (25-40) klatek na sekundę. Warunek ten oznacza, że co (25-40) ms musi być przesłany do grafoskopu pełny opis kolejnej fazy ruchu. Realizację tego warunku można osiągnąć dwiema drogami:

- A - prowadzić obliczenia parametrów dla kolejnych faz ruchu "na bieżąco" w czasie rzeczywistym,
- B - najpierw wykonać obliczenia parametrów dla całej symulacji, zapisać je w pamięci, a następnie przesyłać opis kolejnych faz ruchu do grafoskopu.

Rozwiązanie A jest lepsze, bardziej uniwersalne i umożliwia pełną konwersję użytkownika z maszyną cyfrową. Jak się jednak przekonamy rozwiązanie to może znaleźć zastosowanie jedynie w przypadku bardzo prostych obrazów i praktycznie może mieć miejsce wyłącznie w grafoskopach z lampą oscyloskopową.

Rozwiązanie B, mimo że uniemożliwia konwersję, jest powszechniej stosowane, ponieważ uzyskanie bardziej złożonego obrazu dynamicznego jest możliwe tylko w ten sposób.

### 3. Typy grafoskopów a obrazy dynamiczne

Z istoty obrazu dynamicznego wynika, że można go otrzymać tylko w grafoskopach z odświeżeniem obrazu, tj. w grafoskopach GLK i GLO. Grafoskopy GLOP umożliwiają jedynie dodawanie nowych faz ruchu bez wygaszania poprzednich, co praktycznie uniemożliwia przedstawienie na ich ekranach obrazów dynamicznych.

Grafoskopy GLO i GLK są szczegółowo omówione w [4] i [6]. Dla naszych rozważań istotne są następujące cechy charakterystyczne:

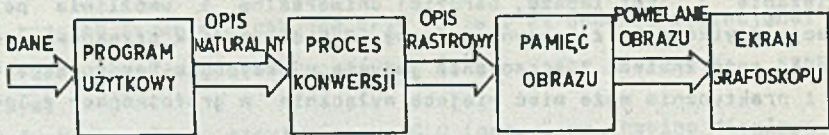
- Grafoskopy GLO przy kreśleniu obrazu korzystają z opisu naturalnego, tzn. np. ze współrzędnych początku i końca wektora, współrzędnych środka okręgu i jego promienia. Pozwala to na 500-krotne zmniejszenie pojemności pamięci obrazu w porównaniu z grafoskopami GLK [4].
- W grafoskopach GLK przed zapisaniem parametrów obrazu do pamięci obrazu musi mieć miejsce proces konwersji opisu naturalnego na opis rastrowy. Znane dotychczas algorytmy konwersji są stosunkowo wolne.
- W grafoskopach GLK nie występuje problem migotania obrazu, ponieważ częstotliwość powielania jest stała i nie zależy od stopnia złożoności obrazu.

### 4. Symulacja graficzna w grafoskopach GLK

W najpowszechniej stosowanych rozwiązaniach grafoskopy GLK posiadają pełną pamięć obrazu. Oznacza to, że każdemu punktowi na ekranie odpowiada co najmniej 1 bit w pamięci obrazu. Liczba bitów przypisana każdemu z punktów na ekranie określa liczbę poziomów szerokości (lub kolorów), jaką można w danym grafoskopie otrzymać. Dla średniej klasy grafoskopów o rozdzielczości 512 x 512 punktów i 16 poziomach szerokości (4 bity) pojemność pamięci obrazu wynosi  $512 \times 512 \times 4 = 1.048.576$  bitów.

#### 4.1. Symulacja w czasie rzeczywistym

Pojawienie się obrazu na ekranie grafoskopu jako wyniku obliczeń poprzedzone jest trzema procesami (rys. 2):



Rys. 2. Symulacja w czasie rzeczywistym w grafoskopach GLK

- obliczeniem przez program użytkowy parametrów obrazu dla kolejnej fazy ruchu,
- konwersję opisu naturalnego na opis rastrowy,
- wpisaniem wyniku konwersji do pamięci obrazu.

Przyjmijmy brak jakichkolwiek założeń ograniczających klasę obrazów, tzn. przyjmijmy, że przy przejściu z jednej fazy ruchu do kolejnej może nastąpić zmiana w każdym punkcie obrazu. Przy częstotliwości powielania obrazu 40 Hz całkowite przygotowanie nowej fazy ruchu nie może być dłuższe niż 25 ms. Dla ekranu o pamięci obrazu  $512 \times 512 \times 4$  bitów otrzymujemy graniczną wartość czasu aktualizacji jednego bitu pamięci obrazu

$$t_{c \text{ gran}} = 25 \text{ ms} / 1.048.576 \text{ bitów} \approx 25 \text{ ns/bit.}$$

Wymagania czasowe można zapisać następująco:

$$t_c = t_1 + t_2 + t_3 \leq t_{c \text{ gran}} \quad (1)$$

gdzie:

- $t_1$  - czas obliczeń programu użytkowego sprowadzony do 1 bitu pamięci obrazu,
- $t_2$  - czas konwersji opisu naturalnego na opis rastrowy sprowadzony do 1 bitu pamięci obrazu,
- $t_3$  - czas zapisu 1 bitu w pamięci obrazu,
- $t_c$  - czas całkowity,
- $t_{c \text{ gran}}$  - graniczna wartość czasu aktualizacji 1 bitu.

Inaczej mówiąc, czas  $t_1$  jest to całkowity czas obliczeń programu użytkowego potrzebny do określenia kolejnej fazy ruchu podzielony przez liczbę bitów pamięci obrazu, a czas  $t_2$  jest to całkowity czas konwersji opisu naturalnego kolejnej fazy ruchu na opis rastrowy podzielony przez liczbę bitów pamięci obrazu.

Na obecnym etapie rozwoju technologii maszyn cyfrowych spełnienie warunku (1) dla  $t_{c \text{ gran}} = 25 \text{ ns}$  nie jest możliwe. Konieczne jest przyjęcie ograniczeń, która uczynią problem bliższym rozwiązaniu.

#### Sposoby zwiększenia $t_{c \text{ gran}}$

- Zmniejszenie pojemności pamięci obrazu

Zmniejszenie pamięci do  $256 \times 256 \times 1$  bitów zwiększa graniczną wartość  $t_{c \text{ gran}}$  do 400 ns.

- Zmniejszenie częstotliwości powielenia obrazu  
Zmniejszenie częstotliwości powielenia z 40 Hz do 20 Hz zwiększa dwukrotnie  $t_{c \text{ gran}}$  (do 50 ns).
- Zmniejszenie aktywnej powierzchni ekranu  
Jeżeli na ekranie o powierzchni  $S$  da się przewidzieć obszar o powierzchni  $S_1$ , w którym i tylko w którym odbywać się będą zmiany dynamiczne obrazu, to graniczna wartość  $t_{c \text{ gran}}$  zwiększy  $S/S_1$  razy.
- Rozwarstwienie pamięci obrazu  
Pamięć obrazu o pojemności  $N_1 \times N_2 \times G$  dzielimy na dwie warstwy. Pierwsza warstwa o pojemności  $N_1 \times N_2 \times G_S$  służy do pamiętania obrazu statycznego. Druga warstwa o pojemności  $N_1 \times N_2 \times (G - G_S)$  służy do pamiętania obrazu dynamicznego. Obraz na ekranie jest wynikiem video-mieszania zawartości obu warstw. Graniczna wartość  $t_{c \text{ gran}}$  ulega zwiększeniu  $G/G - G_S$  razy.

### Skrócenie $t_1$ , $t_2$ i $t_3$

Poza dość ogólnymi i oczywistymi wskazówkami, trudno podać bliższe zalecenia prowadzące do skrócenia czasu obliczeń programem użytkowym  $t_1$ . Dyskusja taka jest możliwa dopiero nad konkretnym programem. Nawet jednak przy idealnych rozwiązaniach programowych problem będzie istniał w dalszym ciągu. Wynika to z ograniczonej szybkości działania maszyn cyfrowych, która (przykładowo) w m.c. ODRA 1305 wynosi:

- dodawanie stałoprzecinkowe 2.1  $\mu$ s,
- mnożenie stałoprzecinkowe 10.0  $\mu$ s,
- dodawanie zmiennoprzecinkowe 18.0  $\mu$ s,
- mnożenie zmiennoprzecinkowe 29.0  $\mu$ s.

Skrócenie procesu konwersji  $t_2$  jest najtrudniejszym i najważniejszym zagadnieniem. Prace nad szybkimi, pracującymi w czasie rzeczywistym, algorytmami konwersji prowadzone są od dawna. Jest to zagadnienie ważne także dla obrazów statycznych. Chodzi o to, by ograniczyć pojemność pamięci obrazu do dwóch linii (dwóch rastrów).

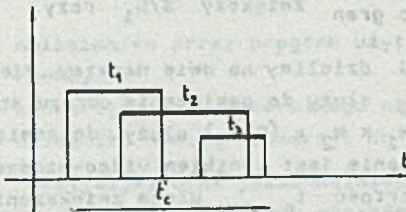
Obraz pozostałby zapisany w postaci naturalnej (a więc bardzo zwartej), a przed jego przesłaniem do grafoskopu następowałaby konwersja opisu linii po linii. W czasie kreślenia na ekranie jednej linii przygotowywane byłaby pamięć dla następnej. I tak na przemian. Jak dotychczas nie uzyskano zadowalających wyników w tym względzie.

Dla zobrazowania skali trudności przedstawimy za [2] następujący przykład. Konwersja obrazu przedstawionego w sposób naturalny na ekranie grafoskopu GLO o 1382 x 1056 punktach adresowych z 4 poziomami szarości (2 bity) na opis rastrowy trwa w mikroprocesorze TI 9900 28.05 sek.

Czas zapisu  $t_3$  jednego bitu pamięci obrazu stanowi znikomą część opóźnień  $t_1$  i  $t_2$  i nie ma decydującego wpływu na wielkość  $t_c$ . Znane są pamięci półprzewodnikowe o czasie zapisu 45 ns.

### Równoległe (równoczesne) prowadzenie obliczeń programem użytkowym, konwersji i zapisu

Należy przedyskutować, czy proces przedstawiony na rys. 2 musi przebiegać sekwencyjnie.



Rys. 3. Równoległe prowadzenie obliczeń

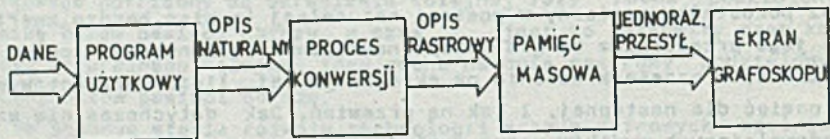
Wydaje się, że procesy konwersji i zapisu mogą przebiegać w dużym stopniu równoległe. Zapis pamięci obrazu może rozpocząć się już po wypracowaniu pierwszych bitów w procesie konwersji.

W świetle poprzednich uwag (o małym wpływie czasu  $t_3$  na czas  $t_c$ ) nie prowadzi to do zauważalnego skrócenia czasu  $t_c$ .

Inaczej przedstawia się problem równoległości procesu obliczeń użytkowych i procesu konwersji opisu naturalnego na opis rastrowy. Przyjęcie założenia, że po określeniu każdego elementu obrazu (np. każdego wektora) następuje jego konwersja, prowadzi do wielokrotnego wykonywania takich samych obliczeń i dodatkowego dużego obciążenia komputera. Nie można także wykluczyć przypadków, dla których równoległość procesów nie skróci a wydłuży czas  $t_c$ . Będzie to miało miejsce, gdy straty wynikające z wydłużenia  $t_2$  będą większe niż korzyści uzyskane z "zachodzenia na siebie"  $t_1$  i  $t_2$  (rys. 3).

#### 4.2. Symulacja "off line"

Symulacja graficzna "off line" polega na wykonaniu obliczeń dla całej symulacji, a następnie przesłaniu i zapisaniu całej sekwencji ruchu w pamięci masowej (na dysku lub bębnie). Dopiero tak przygotowany opis jest czytany i przesyłany do grafoskopu. Rysunek 4 przedstawia schemat współpracy grafoskopu GLK z pamięcią masową.



Rys. 4. Symulacja "off line" w grafoskopach GLK

W symulacji "off line" prowadzonej w grafoskopach GLK istnieją dwie przeszkody:

- Bardzo duża pojemność pamięci masowej.

Dla obrazu 512 x 512 x 4 bitów, przy częstotliwości powielania 40 Hz, dla 1 min symulacji potrzeba około 300 M byte pamięci.

- Bardzo szybka transmisja danych.

Dla parametrów grafoskopu jak poprzednio, szybkość transmisji pomiędzy pamięcią masową a grafoskopem musi wynosić około 40 M bit/s.

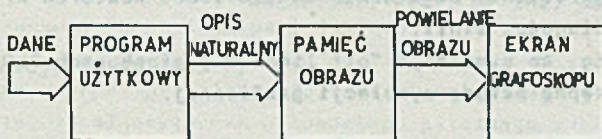
Tak wielkość pamięci, jak i szybkość transmisji mogą ulec zmniejszeniu przez przyjęcie ograniczeń wymienionych w punkcie 4.1.

## 5. Symulacja graficzna w grafoskopach GLO

Podobnie jak w grafoskopach GLK także w grafoskopach GLO znane są systemy symulacji pracujące w czasie rzeczywistym oraz pracujące "off line".

### 5.1. Symulacja w czasie rzeczywistym

Schemat przebiegu symulacji w czasie rzeczywistym w grafoskopach GLO przedstawiony jest na rys. 5.



Rys. 5. Symulacja w czasie rzeczywistym w grafoskopach GLO

Ze względu na sposób otrzymywania obrazu, wymagań czasowych nie można sprowadzić do 1 bitu pamięci obrazu, lecz trzeba je zapisać następująco:

$$T_c = T_1 + T_2 \leq T_{c \text{ gran}} \quad (2)$$

gdzie:

$T_1$  - całkowity czas obliczeń kolejnej fazy przez program użytkowy.

$T_2$  - czas zapisu całej fazy ruchu w pamięci obrazu,

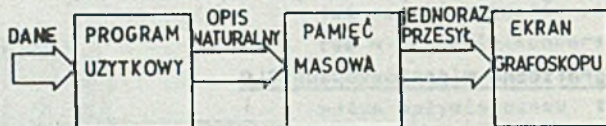
$T_{c \text{ gran}} = 1/f_p = 25 \text{ ms}$  (dla częstotliwości powielania obrazu  $f_p = 40 \text{ Hz}$ ).

Niewystępowanie procesu konwergencji oraz ograniczenie kreślenia na ekranie do aktywnych części powierzchni ekranu sprawia, że w grafoskopach GLO symulacja w czasie rzeczywistym jest możliwa. Aktywna część ekranu to ta część powierzchni ekranu, na którą skierowany jest kolejno promień lampy w czasie jednej fazy ruchu (w grafoskopach GLK promień "omiata" zawsze cały ekran). Wartość  $T_{c \text{ gran}}$  wynosząca kilkadziesiąt milisekund wystarcza do zapewnienia dynamiki prostym obrazom.

W [5] podano, że w systemie graficznym IBM 2250 można otrzymać obraz dynamiczny składający się z kilkudziesięciu elementów.

### 5.2. Symulacja "off line"

Współpraca grafoskopów GLO z pamięcią masową pokazana jest na rys. 6. Podstawowa przewaga tego typu grafoskopów polega na około 500-krotnym



Rys. 6. Symulacja "off line" w grafoskopach GLO

zmniejszeniu pojemności pamięci. Trzeba jednak zaznaczyć, że grafoskopy GLO nie mają nieograniczonej "pojemności" ekranu, tzn. istnieje pewna górna graniczna liczba elementów obrazu, którą grafoskop GLO zdąży wyświetlić bez migotania. W grafoskopach GLO bardzo dobrej klasy osiągnięta jest możliwość wykreślenia 8000 wektorów lub 15000 wektorów krótkich, lub 4 km całkowitej długości linii.

Wydaje się, że symulacja "off line" w grafoskopach GLO jest najbardziej przystępną metodą symulacji graficznej.

## 6. Podsumowanie

Problemy otrzymywania obrazów dynamicznych w grafoskopach nie są w pełni rozwiązane. Nie istnieją, jak dotychczas, wystarczająco szybko algorytmy obliczania kolejnych faz ruchu (np. usuwania niewidocznych płaszczyzn i krawędzi przy obrotach brył), które umożliwiłyby ich obliczenie w czasie rzeczywistym. Także znane dotychczas algorytmy konwersji opisu naturalnego na opis rastrowy są stosunkowo wolne i generalnie nie umożliwiają konwersji w czasie rzeczywistym. Znane przykłady systemów graficznych w grafoskopach GLK pracujących w czasie rzeczywistym są bardzo nieliczne i trudne do rozpowszechnienia. Symulacja lądowania samolotu i symulacja sterowania statkiem w porcie [3], zrealizowane na grafoskopach GLK były możliwe dzięki zbudowaniu specjalistycznego, dużego komputera (wyłącznie do tych celów) przyjęcie uproszczonego obrazu i zmniejszenia częstotliwości powielenia do 20 Hz.

Przy stosowaniu grafoskopów GLO można w czasie rzeczywistym otrzymać obrazy dynamiczne o ograniczonym stopniu skomplikowania (złożoności) obrazu.



Gromadzenie opisów kolejnych faz ruchu w pamięci masowej wymaga w niektórych przypadkach bardzo dużej pojemności pamięci (kilkaset M byte na 1 min symulacji). Wymagana wielkość pamięci masowej jest w grafoskopach GLO o 2-3 rzędy mniejsza niż w grafoskopach GLK.

## LITERATURA

- 1 Gray R.J.: Bit map architecture realizes raster display potential. Computer Design, July 1980.
- 2 Mello J.A., Greaves I.O.: Multiprocessing improves throughput and response in a vector to raster converter. Computer Design, March 1980.
- 3 Myers W.: Interactive Computer Graphics: Poised for Takeoff? Computer, vol. 11, Nr 1, January 1978.
- 4 Newman W.M., Sproull R.F.: Principles of interactive computer graphics. Mc Graw Hill, New York 1979, second edition.
- 5 Praca zbiorowa: Grafoskopy w systemach komputerowych. WNT, Warszawa 1980.
- 6 Sherr S.: Fundamentals of Display System. Design. Wiley-Inter., New York 1970.

Recenzent: Prof. dr inż. Jan Stasiński

Wpłynęło do Redakcji 20.10.1982 r.

## ПОКОЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ КАРТИН В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

## Р е з ю м е

В статье представлено возможности получения динамических картин в различных графоскопах. Представлено решение реализованное в действительном времени и решение полученное в автономном режиме с использованием массовой памяти. Разобрано до сих пор не решенные (удовлетворительным способом) проблемы временных ограничений скорости передачи и емкости памяти.

## GRAPHICAL SIMULATION ON COMPUTERS

## S u m m a r y

The possibility of displaying dynamically moving pictures on different types of graphical displays is discussed. The advantages and disadvantages of real time simulation and off line simulation are presented. There is also indicated how to bypass partly the two main drawbacks: too slow speed of computation (including scan conversion) and very large capacity of mass storage.