

## ANÁLISE DINÂMICA DE ESTRUTURAS ATRAVÉS DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Eduardo M.R. Fairbairn, Ney Roitman e André L.C. Moreira

COPPE/UFRJ - Programa de Engenharia Civil

Caixa Postal 68506

21945 - Rio de Janeiro - RJ

## SUMÁRIO

Este trabalho descreve o sistema ADIV-FR (Análise Dinâmica por Imagens Vídeo - Forma Remota) para análise de vibrações utilizando técnicas de processamento dinâmico de imagens, sendo a câmera de vídeo utilizada como um sensor remoto. Este sistema, baseado em método videoscópico, consiste em uma análise quadro-a-quadro das imagens digitalizadas obtidas de um ensaio dinâmico de estruturas. Além de descrever os equipamentos utilizados e os programas desenvolvidos, este trabalho apresenta também como exemplo de aplicação o sensoramento dos movimentos de um pêndulo simples com baixas frequências

## 1. INTRODUÇÃO

O Sistema ADIV-FR baseia-se no Método Videoscópico que compõe-se de uma série de procedimentos que utilizam a digitalização de imagens vídeo como um instrumento para a análise experimental de estruturas.

O emprego deste método prevê a filmagem vídeo de um determinado evento, a digitalização das imagens quadro-a-quadro, e o armazenamento e tratamento destas imagens digitalizadas em computadores através de procedimentos adequados (ver Figura 1).

A idéia é então a identificação de movimentos de uma estrutura submetida à ação de um carregamento dinâmico. Deslocamentos, velocidades e acelerações em diversos pontos de uma estrutura poderiam assim ser analisados a partir de um processamento quadro-a-quadro das imagens digitalizadas da estrutura em vibração [1].

O emprego deste método pode se dar em diversos casos de análise experimental dinâmica onde a utilização de uma instrumentação convencional não seria possível. Por exemplo, no caso de modelos reduzidos, determinados elementos estruturais podem ter a massa e a rigidez alterada significativamente com a introdução de sensores como acelerômetros e flexímetros e dos cabos correspondentes a estes sensores.

Além destes exemplos de aplicação, pode-se crer que futuros desenvolvimentos nas áreas de automação e robótica colocariam um grande número de casos de análise estrutural onde a aplicação da videoscopia seria recomendável ora por razões econômicas, ora por razões técnicas, como por exemplo, observação de estruturas para exploração de petróleo em águas profundas.

As pesquisas em métodos de análise experimental de estruturas baseados em digitalização de imagens vídeo não tem tido um desenvolvimento significativo no Brasil. O Laboratório de Análise Dinâmica das Estruturas e Processamento de Imagens e Sinas (LADEPIS) do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ está, entretanto, iniciando uma série de estudos visando desenvolvimentos iniciais nesta área, tendo contado para tal com o apoio do CNPq e da FINEP.

Neste trabalho são apresentados então os fundamentos do Método Videoscópico e também um exemplo onde os movimentos de um pêndulo são analisados, com o emprego deste procedimento.

## 2. IDÉIA BÁSICA DO MÉTODO VIDEOSCÓPICO

A idéia básica do sensoriamento de movimentos através da videoscopia é a identificação de regiões da estrutura através do alto contraste existente entre estas regiões e o resto da imagem. Este alto contraste poderá ser ocasionado pela imposição de cor negra com textura apropriada gerando regiões escuras nas imagens que durante o processo de digitalização serão realçadas; nestes quadros apenas os pixels que serão utilizados para a análise do movimento aparecerão como pixels pretos, sendo todo o resto da imagem caracterizado por pixels brancos após a digitalização. Desta forma a placa digitalizadora deve converter a imagem em apenas dois níveis de cor (preto ou branco). Devemos então impor à estrutura analisada certas condições de iluminação, cor e textura de forma a determinar que o ponto para o qual desejamos analisar o movimento seja efetivamente, após a digitalização, correspondente à única região de imagem preta existente.

## 3. EQUIPAMENTO UTILIZADO (HARDWARE)

O equipamento utilizado inicialmente consiste de uma câmera vídeo preto e branco comum (marca UNITEL-CTV100); um microcomputador de 16 bits PC-XT com microprocessador INTEL 8086, "clock" de 8 MHz e 640 K bytes de memória; uma placa digitalizadora de imagens com resolução de 192 linhas x 256 colunas, 1 bit/pixel, contando com um "buffer" de 6.144 bytes que armazena um dos dois campos da imagem (ou o campo par ou o campo ímpar) a cada 1/30 segundos. Esta placa

digitalizadora desenvolvida na COPPE/UFRJ [2] consiste de um sistema analógico que separa os sinais de sincronismo e amplifica o de luminância. A parte digital compõe-se de um flash A/D de 1 bit com frequência de amostragem de 4,9 MHz, um circuito de controle de aquisição e um banco de memória de 6 Kbytes. A interface com o IBM-PC é feita através do barramento utilizando áreas de memória disponíveis que podem ter seu endereço determinado por hardware (dip switch).

#### 4. SOFTWARE DESENVOLVIDO

As rotinas para gerenciamento da aquisição e processamento das imagens foram desenvolvidas em linguagens C (Microsoft C 5.0) e Assembly (Microsoft Macro Assembler 5.0) rodando sob sistema operacional MS-DOS 3.3.

No estágio atual o sistema ADIV-FR compõe-se de três módulos básicos a saber:

##### 4.1 - Módulo de Monitoração:

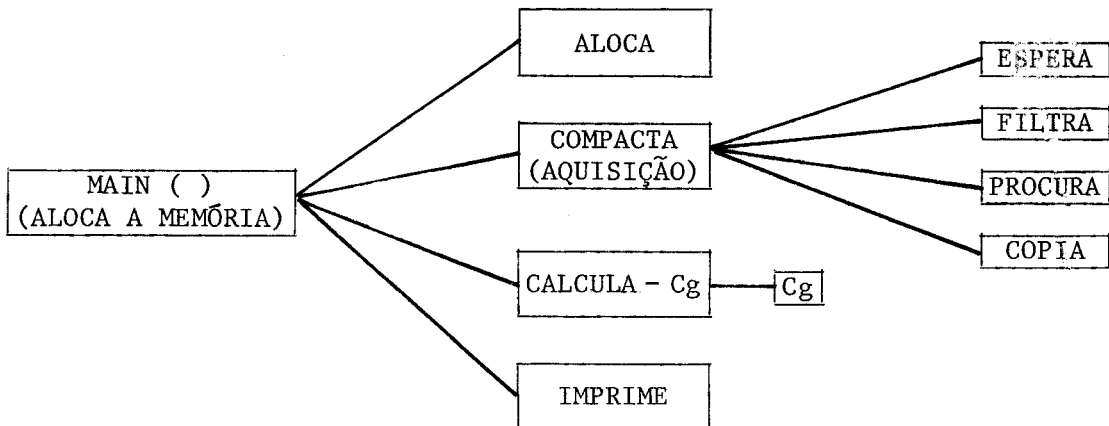
Este módulo tem como fim transferir, a cada 1/30 do segundo a contendo da memória de 6 Kbytes da placa digitalizadora para a memória de vídeo da placa adaptadora gráfica permitindo assim uma observação on-line das imagens digitalizadas. Este programa foi desenvolvido exclusivamente em Assembles.

##### 4.2 - Módulo de Visualização e Filtragem:

Armazena todas as imagens correspondentes a quadros consecutivos (a cada 1/30 do segundo) em áreas da RAM. O limite de armazenamento é a disponibilidade de memória. Pode-se então proceder à visualização quadro-a-quadro das imagens aquisitadas. O procedimento prevê também a eliminação de ruídos nos contornos das imagens. Este programa foi desenvolvido em linguagem C ligado a rotinas em Assembly.

##### 4.3 - Módulo de Aquisição Quadro-a-Quadro e Cálculo do Centro de Gravidade:

Este módulo representa o objetivo final deste método, qual seja a representação do movimento sensoriado através do processamento das imagens aquisitadas. O programa é desenvolvido em linguagem C gerenciando rotinas em Assembly. Um fluxograma resumido pode ser visto a seguir:



Passamos então a descrever sucintamente as principais etapas de programação:

#### a) Main e Aloca

O programa principal, além de gerenciar a chamada das diversas subrotinas, manipula a estrutura de armazenamento dos dados, alocando antecipadamente a memória para tal fim. Esta tarefa é executada pela função "aloca" sendo transcrito abaixo este trecho do programa:

```

:
#define TAM_BLOCO 16384
#define ERRO 65535
:
puts("Quantos blocos deseja alocar ?");
gets(auxstr);
num_blocos = (unsigned)(atoi(auxstr));
if ((num_blocos = aloca(num_blocos, TAM_BLOCO)) == ERRO)
{
    puts("Erro na alocação : memória insuficiente");
    exit(-1);
}
numero_bytes = (long)(num_bloco) * TAM_BLOCO;
printf ("%ld bytes alocados em %u blocos de %u Kbytes n", numero_bytes,
        num_blocos,aux = TAM_BLOCO/1024);
:
unsigned int aloca(unsigned int numero_de_blocos,unsigned int tamanho)
{
    int n;
    for ( n = 0 ; n < numero_de_blocos ; n++ )
    {

```

```

        if ( (imagem[n] = (char far*)(_fmalloc(tamanho))) == NULL )
            break;
    }
    return(n == 0 ? ERRO : n);
}
:

```

#### b) Compacta

Esta função gerencia a compactação da imagem de cada quadro, isto é, a aquisição da parte da imagem que contém a região preta da estrutura.

O algoritmo utilizado segue os seguintes passos:

- b.1) A digitalizadora de imagens é acionada
- b.2) Espera-se o fim da digitalização (detectado pela verificação do estado da memória do buffer da digitalizadora, até que se atinja o tri-state).
- b.3) É eliminado o efeito de borda observado nas laterais, preenchendo os respectivos bytes com a cor de fundo (branco).
- b.4) É procurado o primeiro byte que contenha um ponto preto, que significará um ponto da região preta que se deseja observar na estrutura. Após encontrá-lo, seu endereço é passado para uma variável de controle.
- b.5) É procurado o último byte que contenha um ponto preto. Após encontrá-lo, seu endereço é passado para outra variável de controle.
- b.6) Sabendo-se então os endereços inicial e final da área que contém a região preta da estrutura, verifica-se o número de bytes necessários para copiar o conteúdo desta região da imagem para a memória e, caso haja espaço suficiente, a informação é armazenada e repete-se todos os passos anteriores. Caso contrário termina-se a aquisição.

A função "compacta" chama as seguintes funções programadas em Assembly:

**ESPERA** : espera o fim da digitalização. O fim de sua execução determina o término da digitalização.

**FILTRA** : elimina o efeito de borda da digitalização.

**PROCURA**: procura o primeiro e o último byte diferentes da cor de fundo da imagem digitalizado, retornando os endereços correspondentes.

**COPIA** : copia a parte do buffer da digitalizadora de imagem, limitada pelos endereços definidos pela subrotina "procura" para uma área de memória alocada para armazenar os dados.

Nas linhas a seguir transcrevemos um trecho da função "procura" para exemplificar o desenvolvimento em termos de programação necessário para atin-

gir uma velocidade de execução do programa compatível com a análise em tempo real necessária ao método videoscópico:

```

mov    ax,BUFFER      ; Carrega em es o segmento da placa
mov    es,ax
xor    di,di          ; Inicializa di (offset)
mov    al,FUNDO       ; Carrega em al o valor a ser rastreado

cld                               ; Seta autoincremento em di
mov    cx,TAM_BUFFER  ; Carrega em cx o número máximo de bytes a serem ras-
                                ; treados
repe   scasb           ; Rastreia efetivamente
dec    di              ; Ajusta p/ endereço primeiro byte
mov    bx,[bp + 4]     ; Carrega em bx o endereço do parâmetro 'início'
mov    [bx],di         ; Carrega em 'início' o endereço do primeiro byte

mov    di,TAM_BUFFER - 1; Carrega em di o offset do último byte a ser rastreado
std                               ; Seta autodecremento em di
mov    cx,TAM_BUFFER  ; Carrega em cx o número máximo de bytes a serem ras-
                                ; treados
repe   scasb           ; Rastreia efetivamente
inc    di              ; Ajusta p/ endereço do último byte
mov    bx,[bp + 6]     ; Carrega em bx o endereço do parâmetro 'fim'
mov    [bx],di
mov    ax,bx          : Retorna o endereço do último byte

```

#### c) Calcula\_cg

Esta função identifica o bloco de memória correspondente a um quadro e calcula o centro de gravidade da região preta correspondente a este quadro, repetindo a operação para todas as imagens aquisitadas. A função "calcula\_cg" chama uma outra função em Assembly "cg" porque planeja-se para próximas versões do sistema ADIV-FR o desenvolvimento da monitoração on-line dos movimentos estruturais.

#### d) Imprime

Faz a impressão dos arquivos correspondentes à posição do cg de região preta quadro-a-quadro.

### 5. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

O exemplo para o qual foi testado inicialmente o sistema ADIV-FR foi a leitura do movimento de um pêndulo de chumbo com dimensões de 20x30x8 mm fixado através de um fio de nylon com  $\ell = 0,82$  m. A câmera foi colocada a uma distân-

cia de 1,2 m e a iluminação foi feita com lâmpadas incandescentes. A região "preta" a ser identificada foi então a superfície de chumbo contra um fundo em fôrmica de cor gelo.

Na Figura 2 são mostrados os gráficos do movimento sensoriado pelo sistema ADIV-FR e aquele obtido da bem conhecida equação do pêndulo:  $y = A \cdot \text{sen}(wt - \phi)$ . Pode ser observado um perfeito ajustamento entre as curvas, a menos de uma pequena diferença em tempos mais avançados correspondente ao amortecimento do movimento pendular.

## 6. COMENTÁRIOS FINAIS

Os testes iniciais relativos ao sistema ADIV-FR mostraram ser o método videoscópico possível de aplicação ao sensoriamento de movimentos a baixas frequências. Esta limitação (30 quadros por segundo) inerente aos atuais padrões de vídeo não imporia limitações à análise dinâmica de uma série de estruturas que tem suas primeiras frequências naturais menores que 5 Hz. Para um estudo mais detalhado da aplicabilidade deste método à análise dinâmica estrutural ver, por exemplo, a referência [1]. No atual artigo procuramos dar ênfase aos aspectos computacionais dos desenvolvimentos relativos ao método videoscópico, provando ser possível sua utilização.

## 7. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq que tem concedido importantes Auxílios Pesquisa e Bolsa de Iniciação Científica para o desenvolvimento do Método Videoscópico.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- [1] Fairbairn, E.M.R., Roitman, N, Moreira, A.L.C., Developments in experimental dynamic structural analysis by using video image processing, a ser publicado em CMEM'89, 23-26 de maio de 1989, Capri, Itália.
- [2] Carvalho, F.N., Mello, T.C., Placa digitalizadora de imagens, manuais, 1988.

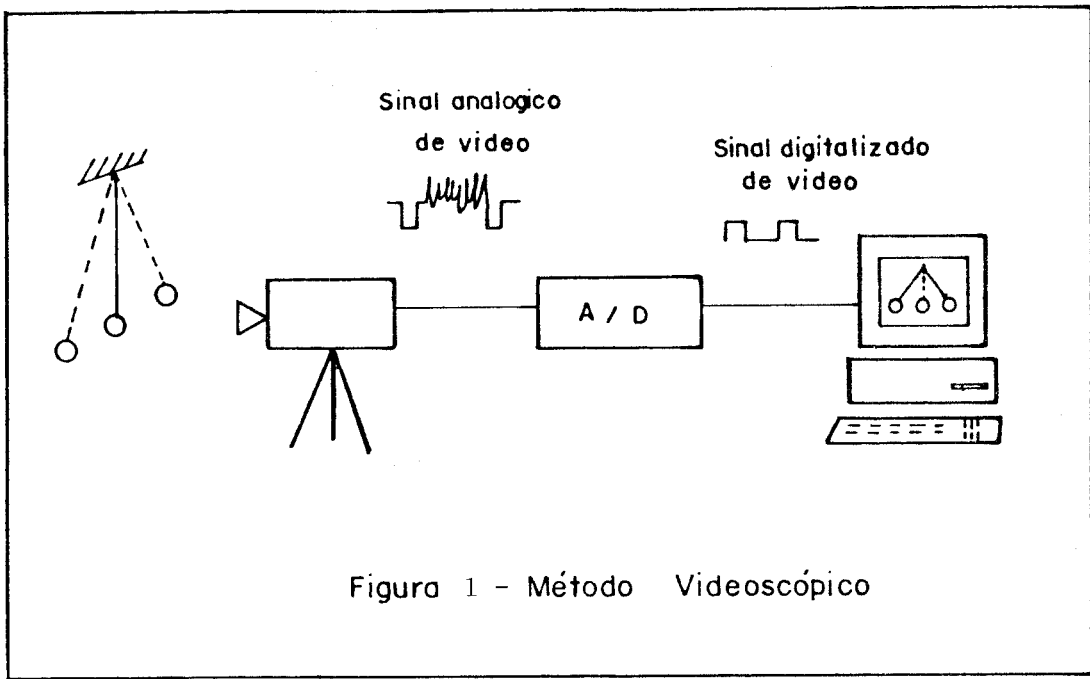


Figura 1 - Método Videoscópico

## METODO VIDEOSCOPICO

MOVIMENTO PENDULAR :  $\omega = 3.46 \text{ rad/s}$

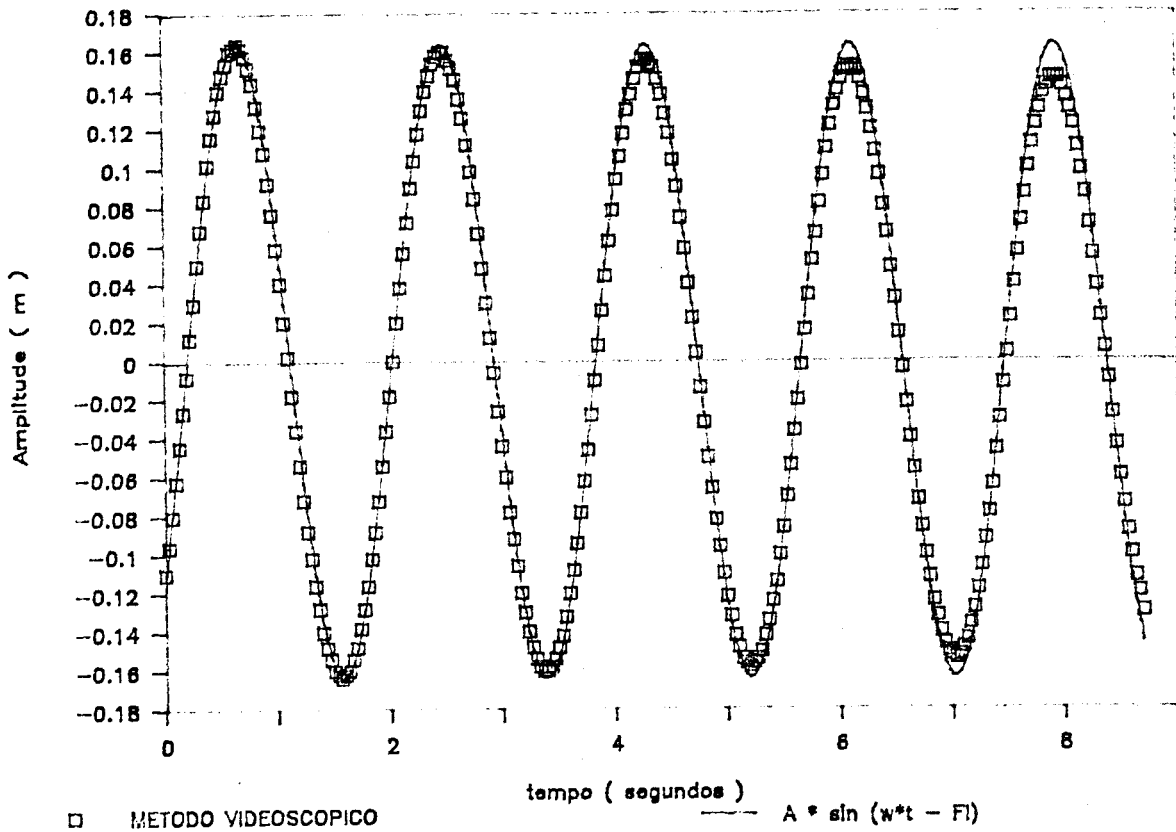


FIGURA 2