

# Dispositivos Interativos Uma Classificação Independente de Aplicação

LUIZ ERNESTO MERKLE <sup>1</sup>  
SÉRGIO SCHEER <sup>2</sup>

<sup>1</sup> CEFET-PR - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná  
CPGEI - Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial  
Av. 7 de setembro, 3165  
80230-901 Curitiba, PR, Brasil  
cefetpr@brfapesp.bitnet subject:Merkle

<sup>2</sup> UFPR - Universidade Federal do Paraná  
CESEC - Centro de Estudos em Engenharia Civil  
C.P. 19011 - Centro Politécnico  
81531-970 Curitiba, PR, Brasil  
sscheer@brufpr.bitnet

**Abstract.** This paper shows how interactive devices can be classified independently of the application in which they are used. The normally used classification is strongly connected with it, and is not general enough to characterize *virtual reality* devices. With this in mind, an abstraction on the degrees of freedom, connected with the sensed or actuated variables of the device is proposed and briefly discussed. This approach intends to enlarge the autonomy between parts of interactive systems in constructive or in logical aspects.

## 1 Objetivos e paradigmas

O objetivo da pesquisa que reflete este artigo, é o desenvolvimento de uma abordagem uniforme que englobe tanto os dispositivos interativos clássicos, já classificados pelos sistemas padrão (GKS, PHIGS, ...) (mouses, mesas, teclados,...), como dispositivos não convencionais, hoje em voga nas chamadas "realidades virtuais" (óculos estereoscópicos, *joy-string*, luvas,...) [Foley et al.(1990)] [Helsel-Roth (1991)]. Uma das motivações desta pesquisa tem como raiz o projeto Guaiá [Merkle (1991)], onde se desenvolveu um mouse cuja principal característica adicional é a captação da rotação do mesmo no plano. Este grau de liberdade a mais, a miríade de dispositivos novos que estão surgindo, e a tentativa de classificá-los da forma tradicional, deixou claro a falta de critérios precisos para uma comparação entre eles. Assim como dificulta uma compreensão mais apurada da dinâmica organizacional dos aspectos cognitivos e construtivos de sistemas onde interajam pessoas e máquinas. Este artigo trata com mais precisão apenas do critério de classificação, mas expõe sucintamente a dinâmica do contexto de modo a possibilitar uma melhor compreensão da utilização de certos conceitos.

A linha mestra aqui utilizada discute inicial-

mente os conceitos de sensor, atuador, e o porquê não se utilizam os termos dispositivos de entrada e saída. Para isto discutem-se os conceitos de acoplamento estrutural e autonomia, [Maturana - Varela (1972)] de modo a delimitar as fronteiras e os paradigmas utilizados. Introduzidos tais pressupostos, expõem-se as formas de classificação clássicas orientadas a tarefa e a dispositivo lógico [Foley et al. (1990)]. Propõe-se uma classificação baseada nos graus de liberdade dos dispositivos, e dão-se alguns exemplos. Na seqüência discute-se como os modos de operação *request*, *sample* e *event* não interferem nesta classificação, e podem ser analisados como uma tendência à autonomia das partes componentes.

Tal tendência de autonomia das partes pode ser observada no contexto da máquina em sistemas de gerenciamento de interfaces com o usuário (*UIMS*) [Harson-Hix (1989)] onde se tem a interface e aplicação independentes ; e no que se chama hoje de *sistemas orientados para objetos* [Goldberg - Robson (1985)].

Uma referência na mesma área, mas seguindo diferente caminhos, é o trabalho de [Duce et al (1990)] onde se propõe uma abordagem genérica para dispositivos de entrada baseada no GKS, mas utilizando uma estrutura hierárquica de composição dos mesmos. Uma hierarquia de tarefas também poderia ser

construída. Devido a dependência entre classificação de dispositivo e tarefa, procurou-se chegar a uma solução mais uniforme.

## 2 Terminologia

A distinção da estrutura física e da organização lógica de um sistema pode ser feita por um observador na medida em que ele interage com o mesmo, e delimita fronteiras entre as partes constituintes. Considerando que se está observando um sistema interativo, construído para uma determinada finalidade, as primeiras classes de componentes que se distinguem, são pessoas e máquinas, e o ambiente onde elas se encontram. Quando se utiliza o computador como intermediário para uma tarefa mecânica, pode-se delimitar um subconjunto do ambiente físico onde as máquinas atuam.

A forma não muito clara de dizer coisas tão simples visa possibilitar o estudo do desenvolvimento de interfaces, de dispositivos, dos chamados ambientes para realidade virtual, dos sistemas para teleoperação e outros relacionados, dentro de um mesmo paradigma. Procura-se direcionar tal paradigma de acordo com os conceitos encontrados em [Winograd-Flores (1986)] para a compreensão dos computadores e da cognição, e [Maturana-Varela (1972)] onde se encontra uma fundamentação biológica para as ciências cognitivas. Em tal abordagem não se encara um sistema vivo como um sistema com entradas, processamento e saídas. Mas como um sistema autônomo composto de redes sensorimotoras, onde o sistema quando perturbado, procura manter a sua integridade devido a ajustes na sua estrutura. Esta interação com o meio se denomina *pareamento estrutural*. Quando o sistema não consegue manter a integridade, ele se decompõe.

Em consequência disto, utilizam-se aqui os termos dispositivos sensores e atuadores, também utilizados em robótica, em substituição a dispositivos de entrada e saída, normalmente empregados em Ciência da Computação. Deste modo, uma ação ou um sensoramento pode ocorrer dentro do próprio sistema, sem que também ocorra uma perturbação através de um acoplamento estrutural com o meio.

## 3 Classificação tradicional

A forma tradicional de se abordar os dispositivos interativos [Foley et al. (1990)] está amalgamada com o tipo de tarefa a ser realizado. Quatro classes são determinadas:

- Tarefas de Quantificação – Se referem ao estado de determinada atividade onde o sistema

interativo requer um valor ou uma quantidade numérica.

- Tarefas de Posicionamento – Quando se requer uma localização em um espaço.
- Tarefas de Seleção – Quando se identifica um objeto através de determinados atributos.
- Tarefas de Textualização – Quando a interação se realiza por meio de uma linguagem.

Nesta abordagem, uma determinada atividade pode pertencer a mais de uma classe conforme a mesma seja analisada. Por exemplo, uma tarefa de posicionamento, pode ser decomposta funcionalmente em duas ou mais tarefas de quantificação, quando se usa um conjunto de dispositivos avaliadores (*valuators*), ou em duas ou mais tarefas de textualização, quando se usa um teclado. Como um teclado, típico dispositivo de textualização, pode ser visto como um conjunto de dispositivos para quantificação (com apenas dois valores permitidos), pergunta-se onde está a melhor maneira de se fazer a decomposição. Esta multiplicidade de interpretações é valiosa quando se projeta a possibilidade de utilização de diferentes objetivos para um mesmo fim. Mas quando se pretende caracterizar um dispositivo físico, é interessante que se tenha uma interpretação única e definida. O mesmo se diz para a tarefa, de modo que uma vez tendo bem claras as características de dispositivos e de tarefas, então, se possa fazer uma comparação entre uma tarefa e a adequação dos diversos dispositivos.

A classificação a nível de dispositivo lógico normalmente utilizada para separar os vários tipos de dispositivos físicos (ao menos os mais simples), possui uma relação muito estreita com a tarefas acima e está dividida em:

- Dispositivo Avaliador (*valuator*) – reporta um valor numérico.
- Dispositivo Localizador (*locator*) – indica uma posição ou orientação.
- Dispositivo de Seleção (*pick*) – permite a seleção de uma entidade visualizada.
- Dispositivo de Opção (*choice*) – possibilita a escolha de um elemento em um conjunto determinado.
- Dispositivo de Texto (*string*) – permite a entrada de uma seqüência de caracteres.

Como estes dispositivos lógicos e as tarefas estão estreitamente relacionados, as críticas que se fazem a

uns se podem fazer a outros. Por exemplo, pergunta-se como se caracteriza um conjunto (estéreo) de microfones, que em uma aplicação hipotética de multimídia, é destinado a captação de voz para posterior processamento. Um avaliador reporta um valor numérico, mas nada impede que se classifiquem estes microfones como dois avaliadores. Digamos que este sistema vai ser utilizado como dispositivo de escolha. Nele um som vindo da direita, significa que o usuário sentado à direita (um aprendiz) vai iniciar uma determinada tarefa, vindo da esquerda, significa que é o instrutor que vai ter acesso, e ações diferentes vão ser tomadas. Classifica-se o dispositivo como um conjunto de avaliadores, ou como um dispositivo de escolha? Vai depender da fronteira estipulada por quem faz a análise. O fato de estar propondo outro critério de classificação, não significa que os sistemas que a façam por tarefa sejam inconsistentes. Pode no entanto, significar que se tenham que fazer construções lógicas mais complexas para tratar de dispositivos de mesmo grau de complexidade, mas não convencionais.

Um exemplo simples é o teclado. Pode ser utilizado tanto como dispositivo de escolha, como de texto. Sendo a diferenciação mais em função do que se faz com os caracteres recebidos, do que com as características específicas do dispositivo. Como comparar dois teclados, um normal e um *chord* (duas teclas simultaneamente acionadas significam um terceiro estado e não que uma tecla foi apertada depois da outra); observe-se que os hardwares existentes não funcionam necessariamente assim, mas o conjunto software-hardware sim. A ressalva se dá devido ao fato de muitos teclados possibilitarem o uso como *chord* mas o software de controle e aquisição dos dados do mesmo não. Esta relatividade do ponto de vista é que tem que ser evitada. Aquilo que define um dispositivo não pode permitir ambigüidade. A quantidade de exemplos pode ser estendida, e tende a aumentar com o aparecimento de novos dispositivos que ainda nem tem classificação, e onde as tarefas a eles relacionadas ainda não foram implementadas ou sequer imaginadas.

Com o aumento da capacidade dos computadores, tarefas mais complexas começam a se tornar viáveis. Por exemplo, as chamadas *realidades virtuais* exigem tarefas de posicionamento onde muitas variáveis tem que ser controladas simultaneamente. Para que um sólido seja posicionado em um ambiente, exige-se pelo menos o conhecimento de seis graus de liberdade (de três coordenadas e três ângulos, em um sistema de coordenadas cartesianas). Para que ele seja representado com características visuais semelhantes as encontradas em um

acoplamento estrutural direto com o objeto, certamente exige-se muito mais, e são aí que entram as ditas técnicas de *realidade virtual*. Dentre os dispositivos normalmente utilizados em tais tarefas de posicionamento, a classe mais disseminada permite, no domínio da máquina referente ao acoplamento, o controle da posição de um ponto no plano (ponto, não objeto), o que exige dois graus de liberdade. Por exemplo, uma mesa digitalizadora. Isto não quer dizer, que no domínio do usuário exijam-se apenas duas translações. Em um mouse comum, por exemplo, caso haja uma rotação simultânea ao movimento de translação, pode-se não chegar aonde se pretende, pelo fato da trajetória sensoreada ser diferente da realizada [Merkle (1991)].

Tais particularidades, já intrincadas quando se limita o sistema interativo a um usuário e uma máquina, se tornam-se mais complexas quando se pretende o controle de uma tarefa física através de uma máquina. Um sistema de manufatura auxiliada por computador onde o usuário não tem acesso direto a ferramenta, pode ser um exemplo. Tal sistema de tele-operação exige da máquina pelo menos duas frentes de acoplamento. Uma com o usuário, outra com a peça a ser fabricada. Pode-se aumentar o problema em se tratando de sistemas cooperativos, onde duas pessoas trabalham conjuntas, em lugares diferentes, sobre uma peça também em outro local.

Caso não se tenha um método para se estipular, analisar, projetar, construir, acompanhar e modificar tais acoplamentos dentro de um paradigma específico, certamente o processo de desenvolvimento pode limitar o produto final [Merkle 1992]. As formas tradicionais de se tratar os dispositivos estão colocadas em várias camadas, fazendo uma mistura de conceitos e níveis de abstração.

#### 4 Classificação proposta

Não se entrará aqui nos aspectos referentes ao funcionamento da estrutura do usuário ou da máquina. Assim como se procura ter independência de dispositivo e de interface em relação a aplicação, pretende-se, no sentido inverso, abordar os dispositivos interativos de modo independente da aplicação. Tal abordagem, e conseqüente classificação, está baseada nos graus de liberdade possíveis de serem sensoreados e atuados no dispositivo. O principal objetivo disto, é se ter um critério claro e preciso para comparar diferentes dispositivos, e a utilização dos mesmos em diferentes tarefas, as quais também tem um grau de liberdade associado.

A tarefa, entretanto, está em um domínio de abstração superior ao dos usuários e máquinas, uma vez que envolve ambos. Como se existissem diversas

camadas estratificadas, onde os componentes quando associados, formam componentes mais complexos, que formam componentes mais complexos e assim sucessivamente. Mas não basta que apenas haja o aumento da complexidade, é necessário que as camadas possuam uma certa independência entre elas, de modo que quando um componente seja substituído ou modificado, não se comprometa a integridade do sistema.

O mesmo não se diz da classificação por tarefa. Quando se utiliza tal abordagem para classificar um dispositivo, se misturam níveis de abstração, pois se entrelaç uma hierarquia funcional com uma composicional.

Pretende-se aqui, expor uma classificação de dispositivos interativos onde cada componente presente em uma determinada camada do sistema seja independente dos outros componentes, e dos níveis acima e abaixo existentes. O fato dos sistemas gráficos padrão recomendarem a independência de dispositivo e dos sistemas de gerenciamento de interfaces (UIMS) [Hartson-Hix (1989)] com o usuário, como já dito, recomendarem uma separação da interface do programa de aplicação com certeza foram e são passos nesta direção. Pretende-se aqui refinar tais conceitos de modo a facilitar a compreensão de um pequeno subconjunto dos sistemas interativos, o da utilização de dispositivos interativos.

Os conceitos aqui utilizados se baseiam nos seguintes pontos:

- Limitação do contexto aos limites da região onde ocorre a interação entre organismo e máquina.
- Divisão deste contexto nos lados referentes a máquina e ao usuário.
- Especificação das funcionalidades presentes em termos de sensoramento e de atuação.
- Número de grandezas e ou atividades associados ao dispositivo. Pode-se abstrair para graus de liberdade.
- Possibilidade ou não de simultaneidade de ação ou de medição do estado do acoplamento.

A limitação do contexto já foi discutida quando se tratou de independência mútua de dispositivo e aplicação. Para uma análise da tarefa pode-se utilizar a mesma classificação que se propõe, e então fazer um estudo cruzado com os dispositivos. Ou seja, comparar os graus de liberdade que a tarefa requer com os dos dispositivos disponíveis, e fazer um estudo do relacionamento entre eles.

No acoplamento estrutural entre usuários e computadores ambos os lados influenciam o funcionamento global do sistema. Nesta classificação se restringirá a análise do contexto referente a máquina.

A funcionalidade separa logicamente os elementos em dispositivos de sensoramento e de atuação. Um dispositivo pode aglutinar ambas as funções sobre um mesmo elemento. Por exemplo, certos motores também podem ser usados como geradores. Um autofalante, dentro de determinados limites, também pode ser usado como microfone. Esta graduação na funcionalidade poderia ser descrita por um valor numérico, mas vai-se utilizar o bom senso aqui de modo a facilitar a notação, representando apenas as características ativas. Um elemento sensor será representado por um  $s$  e um atuador por um  $a$ .

A ação de perturbação característica tem como exemplo a rotação de um quantificador rotacional, a translação de um botão de acionamento, a emissão de som ou de luz. Tal ação que possui um grau de liberdade associado será representada entre colchetes e após a função. Uma translação sobre uma reta será representada apenas por um  $T$ , sobre um plano por  $2T$ . A rotação será representada por  $R$ , e assim por diante.

O intervalo e o número de estados possíveis é uma característica importante na comparação de uma chave com um dispositivo avaliador, de um potenciômetro linear com um rotacional. Tal representação poderia ser feita como utilizam os limites de integração em uma integral ou em um somatório. Por motivos de clareza, também não foi representado.

A simultaneidade será representada simplificada por uma lógica booleana. Uma abordagem mais precisa exigiria uma lógica temporal. Duas teclas que podem ser ativadas pelo usuário ao mesmo tempo, e sensoradas neste estado, são representadas por " $s[T] + s[T]$ ". A maioria das teclas de um teclado comum utilizaria o conectivo "ou exclusivo" ( $\oplus$ ) pois só se pode acionar uma tecla por vez. Ressalva-se que aqui se limita a análise das teclas sensoradas no domínio da máquina. No domínio do usuário, se não houver uma restrição mecânica, pode-se acionar duas teclas simultaneamente, mas o sistema não identificará tal estado.

Tal classificação possibilita a identificação e comparação de algumas características do acoplamento resultante entre usuários e máquinas através de determinados dispositivos. Embora a tabela apresente os dispositivos separadamente, eles podem, e muitos devem, ser utilizados em conjunto. E se possível, simultaneamente, pois se bem projetada a dinâmica do sistema nas correspondências ações-per-

chaves	$s[T]$
teclados	$s[T] \oplus s[T] \oplus s[T] \dots$
teclados <i>chord</i>	$s[T] + s[T] + s[T] + \dots$
avaliadores rotacionais	$s[R]$
avaliadores lineares	$s[T]$
conversores A/D	$s[\text{Tensão}] + s[\text{Tensão}] + \dots$
Lâmpadas, LEDs, ...	$a[\text{Luz}]$
Autofalantes	$a[\text{Som}]$
Displays Táteis 1D	$a[T]$
Displays Táteis 2D	$a[T] + a[T] + \dots$
Manche ou <i>Joystick</i> 2D	$a[2R]$
Manche ou <i>Joystick</i> 3D	$a[3R]$
<i>Spaceball</i>	$s[3R+3T]$
Manche Tátil	$s[2R] + a[2R]$
Bolota ou <i>trackball</i>	$s[2R]$
Rato	$s[2T]$
Guaiá	$s[2T+R]$
Monitor	$a[\text{Luz}] \cdot s[\text{Posição 2D}]$
Caneta Ótica	$s[\text{Luz}]$
Tela de toque 1 ponto	$s[\text{Condutividade}]$
Tela de toque n pontos	$s[\text{Cond.}] \oplus s[\text{Res.}] \oplus \dots$
Mesa Digitalizadora	$s[\text{Proximidade}] + s[\text{Translação 2D}]$
Mesa 6D	$s[\text{Posição 3D+3R}]$
<i>Joystick</i>	$s[3T+3R] + a[3T+3R]$

Tabela 1: Dispositivos e sua descrição em termos de graus de liberdade

turbações, há melhora na qualidade da interação.

Uma tarefa de posicionamento de um cursor em um espaço exige três graus de liberdade. A visualização do espaço representado permite dois graus se feita em um monitor comum. Dispositivos como mouses e mesas digitalizadoras permitem dois. Como processar cada variável sensoreada com as representadas se elas nem sempre possuem uma correspondência direta? (pois uma translação no espaço representado não implica uma translação do dispositivo sensor no plano). A utilização de um dispositivo é suficiente, ou dois ou mais conjuntos são necessários? Admitindo que se tenha um dispositivo com mais graus de liberdade ou mais de um dispositivo, a dificuldade inerente ao problema não diminui, fica até mais complexa, pois mais variáveis atuam simultaneamente, e o controle das mesmas é dificultado. Quais os mecanismos a serem desenvolvidos para que o usuário saiba o que está alterando, como e em que sentido, e com o que?

O projeto de tais sistemas, nos aspectos referentes a simultaneidade de utilização de dispositivos, exige soluções de hardware-software que possibilitem tal resposta no tempo. Tal fator está ligado ao chamado modo de operação de um dispositivo lógico em

um sistema gráfico padrão, a forma de operação de um sistema de controle de entradas e saídas de sinais no hardware da máquina, a características do sistema operacional, etc... . Consequentemente, tal característica pode ser considerada como um atributo restrito a arquitetura de cada parte do sistema, e portanto ortogonal ao número de graus de liberdade que cada parte requer. Por exemplo, o dispositivo pode ser construído utilizando eventos, mas a aplicação pode só consultá-lo por amostragem. É claro que determinadas tarefas são facilitadas quando se tem determinados modos de operação, e a escolha destes deve ir de encontro a elas. Pode-se dizer que dentro de um mesmo contexto, o modo de operação facilita a simultaneidade de dispositivos e de variáveis. Não haveria sentido falar em mais de um grau de liberdade se se pudesse trabalhar apenas com um por vez.

## 5 Conclusões

Este artigo expõe uma proposta de classificação de dispositivos interativos baseada nos graus de liberdade característicos de dispositivos interativos. Há uma preocupação em englobar todas as possibilidades de dispositivos, visando uma uniformização de tratamento e análise do desempenho dos mesmos. Tal análise, embora se tenha dado ênfase somente ao contexto do dispositivo, também poderia ser aplicada separadamente ao contexto do usuário ou da plataforma (hardware-software). Com cada camada devidamente analisada e especificada independentemente das outras, se tem algo parecido com abstração de dados a nível do relacionamento entre as partes de um sistema. Pois são destacados apenas os aspectos relevantes necessários a descrição do dispositivo. Outras características ficam para ser analisadas em outros níveis onde elas sejam relevantes. Sendo a independência entre as partes mútua, a plasticidade e evolutividade de um sistema são facilitadas.

## 6 Referências

- D. A. Duce, R. van Liere e P. J. W. Hagen. *An Approach to Hierarchical Input Devices* Computer Graphics Forum, p.15-26, 9, 1990.
- J. D. Foley, A. van Dam, S. K. Feiner e J. F. Hughes. *Computer Graphics, principles and practice*. Addison Wesley, 1990.
- A. Goldberg and D. Robson. *Smalltalk - 80 : the language and its implementation*. Addison Wesley, 1985.
- H. R. Hartson e H. Hix. *Human Computer Interface: concepts and systems for its management*. *ACM Computing Surveys*. vol.21 n.1 1989 5-89.

- S. K. Helsel e J. P. Roth, editors. *Virtual Reality - theory, practice, and promise*. Meckler, London, 1991.
- H. R. Maturana e F.J.Varela. *Autopoiesis and Cognition - the realization of the living*. D.Reidel, Dordrecht, 1972.
- L. E. Merkle. *Guaiá - Um dispositivo sensor de três graus de liberdade para posicionamento no plano*. Dissertação de Mestrado, CEFET-PR CPGEI Curitiba, 1991.
- L. E. Merkle *Aspectos Paradigmáticos do Desenvolvimento de Software*. CITS-CRIM - International Conference on Software Technology Software Engineering. Curitiba. 10/1992.
- T. Winograd e F. Flores. *Understanding Computers and Cognition: a New Foundations for Design*. New Jersey, Ablex Press. 1986.