

PROGRAMAS PARA A INTERNET VISANDO A DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ÓTIMO E O BALANCEAMENTO DE LINHA

João Carlos Espíndola Ferreira

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, 88040-900, Florianópolis, SC, Tel: (0xx48) 331-9387, E-mail: jcarlos@emc.ufsc.br

Gabriel Fernando Andriolli

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, 88040-900, Florianópolis, SC, Tel: (0xx48) 331-9387, E-mail: gabriolli@bol.com.br

Abstract

The Internet has modified the day-to-day living of a significant amount of people in the world, contributing for globalization. The Internet has been used for the following activities, among others: buying and selling of products, teaching, general information search, and remote manufacture of parts. One of the technologies that has contributed for the success of Internet is the Java language, which allows the development of programs that may be executed in the client computer, whatever hardware and operating system it uses. This paper describes some pieces of software that were developed in the Java language, which aim at solving traditional manufacturing problems, and they are: (i) optimum batch size calculation for a product mix; and (ii) balancing of activities in a line. The links to the sites where these applets are located are included in this paper. The programs were developed so that the manufacturing community may use them to solve some manufacturing problems. Also, it is intended to show the usefulness of the Java language.

Keywords: Manufacturing, Internet, Java

1. Introduction

A Internet há alguns anos tem mudado a vida das pessoas em todo o mundo, sendo que uma das principais características da mesma é a efetiva eliminação das distâncias para a troca de informações. Consequentemente ela tem contribuído significativamente para a globalização. Algumas das atividades que têm sido efetuadas através da Internet são:

- compra e venda de produtos (Saturn 2000; Nissan 2001);
- ensino (Cyberlearning Universe, 2001);
- busca de informações em geral (Yahoo, 2001; Altavista, 2001);
- fabricação remota de peças (Cybercut, 2000).

Além da disponibilização mais rápida de informações para os clientes, e também da aproximação do cliente da empresa, os preços de produtos vendidos através do comércio eletrônico são em geral mais reduzidos, devido à eliminação de despesas com aluguel de pontos comerciais, e com a quantidade de funcionários.

A Internet já tem dado uma grande contribuição à manufatura, pois permite que haja uma interligação entre diferentes departamentos de uma mesma empresa visando a troca de informações tais como:

- operações a serem efetuadas num produto;
- a comunicação sobre os requisitos de materiais numa determinada estação;
- possíveis realimentações para o departamento de projeto sobre modificações no projeto do produto que serão necessárias para a redução dos custos de fabricação do mesmo. E

estes departamentos poderão não estar localizados na mesma cidade, e nem no mesmo país. E pode-se considerar que um ou mais fornecedores estejam interligados nesta cadeia via Internet.

Além desta aplicabilidade corporativa da Internet, pode-se considerar o seu uso para a programação e monitoramento de equipamentos de manufatura à distância. Por exemplo, através da Internet pode-se executar um programa de simulação de robô para ter-se um aprendizado didático da cinemática e dinâmica do mesmo (Robosim Project, 1999). Além disso, pode-se enviar informações para um robô real localizado bem distante para que ele efetue determinadas atividades (Telerobot Project, 1998).

Uma outra aplicação importante no âmbito da manufatura é a disponibilização de um software de CAD/CAM para um cliente remoto, o qual introduz através do módulo CAD uma peça que deverá ser fabricada a milhares de quilômetros de distância num centro de usinagem CNC (Cybercut, 2000).

Ciente da importância da tecnologia da Internet, os autores desenvolveram programas na linguagem Java para a solução de problemas tradicionais que ocorrem em ambientes de manufatura. Tais programas estão disponíveis na Internet para a comunidade de manufatura que necessite solucionar estes problemas. Eles também podem ser utilizados por educadores para a execução rápida destes problemas. Os respectivos links destes sites serão fornecidos ao longo do texto do artigo.

2. A Linguagem Java

Um fator importante que tem contribuído para a disseminação da Internet é a linguagem Java, desenvolvida pela Sun Microsystems (1999). Ela é uma linguagem de programação de alto nível que possui as seguintes características: simples, de arquitetura neutra, orientada a objetos, distribuída, de alto desempenho, interpretada, robusta, dinâmica e segura (Gosling e McGilton, 1995).

Java é uma linguagem que é tanto compilada quanto interpretada. Com um compilador, traduz-se um programa em Java para uma linguagem intermediária chamada "Java bytecodes" (código em bytes de Java), que são códigos independentes da plataforma, que são interpretados pelo interpretador do Java. Com um interpretador, cada instrução do código em bytes do Java é analisado e executado no computador. A compilação ocorre somente uma vez, enquanto a interpretação ocorre cada vez que o programa é executado (ver figura 1). Como exemplos de interpretadores de Java tem-se os "browsers" da "world wide web" (por exemplo, o Netscape).

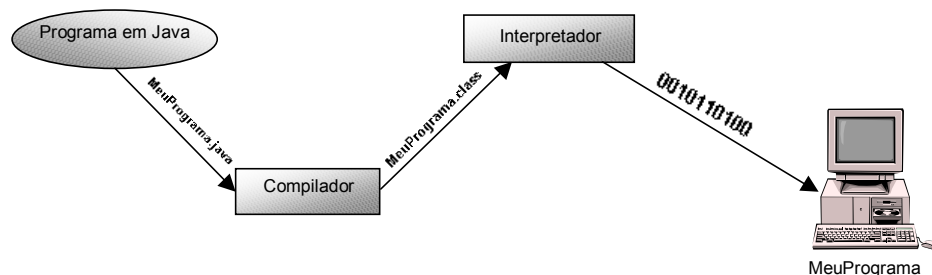


Figura 1. Ilustração da filosofia da linguagem Java

Esses "bytecodes" de Java permitem que um programa seja escrito somente uma vez, e executado em qualquer lugar. Pode-se compilar um programa em Java em "bytecodes" em qualquer plataforma que possua um compilador Java. Os "bytecodes" podem então ser executados em qualquer hardware (ver figura 2).

A filosofia da linguagem mostrada brevemente acima a torna extremamente popular para aplicações relacionadas à Internet. Os programas desenvolvidos na linguagem Java são denominados "applets".

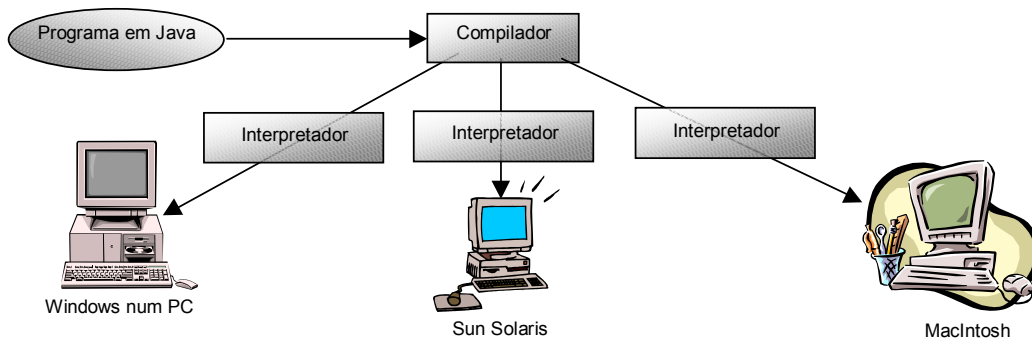


Figura 2. Funcionamento de um programa em Java em diferentes plataformas de hardware

No presente artigo são apresentadas duas applets que foram desenvolvidas para a solução de dois problemas de manufatura, que são os seguintes: (i) cálculo do tamanho de lote ótimo para um mix de produtos; e (ii) balanceamento de atividades numa linha. A seguir serão descritos cada um destes problemas brevemente, e posteriormente as applets serão mostradas, e os seus resultados.

3. Cálculo do Tamanho de Lote Ótimo

A formulação para definir a quantidade econômica Q_e para os lotes consiste em efetuar-se uma análise sobre as variações de estoque, considerando-se taxas de produção e de consumo, com a conseqüente determinação do estoque médio (Lorini, 1993). As principais variáveis consideradas na formulação são definidas através de uma representação gráfica, mostrada na figura 3.

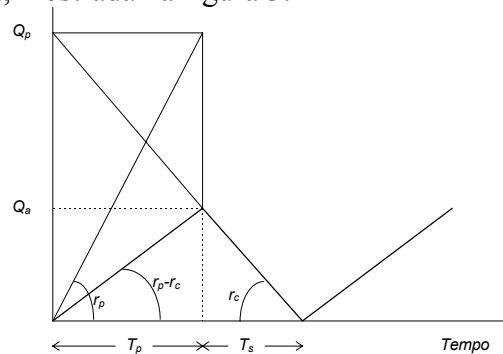


Figura 3. Evolução da produção com o tempo

As variáveis envolvidas são as seguintes:

r_p	= taxa de produção
r_c	= taxa de consumo
$r_p - r_c$	= taxa de aumento do estoque
Q_p	= quantidade de produção total
Q_a	= quantidade acumulada no ciclo
T_p	= tempo do ciclo de produção
T_s	= tempo do ciclo de consumo
T_c	= tempo do ciclo total ($T_p + T_s$)
c_s	= custo de setup por ciclo
c_e	= custo de manutenção de estoque por produto, por unidade de tempo

O custo total CT é dado pela seguinte equação:

$$CT = \frac{c_s}{Q_p} + c_e (1 - \beta) \frac{Q_p}{2r_c} \quad (1)$$

onde $\beta = r_p / r_c$. Diferenciando-se o custo total em relação à quantidade produzida Q_p ,

obtém-se o valor Q_e , que corresponde ao tamanho de lote que resulta num custo mínimo. Este valor é dado por:

$$Q_e = \sqrt{\frac{2 r_c c_s}{(1 - \beta) c_e}} \quad (2)$$

O tempo ótimo para o ciclo de produção T_c^* é dado pela equação (3).

$$T_c^* = \sqrt{\frac{2 c_s}{(1 - \beta) r_c c_e}} \quad (3)$$

Considerando-se que vários produtos estejam sendo produzidos num mesmo ciclo, nas mesmas máquinas, uma outra conotação é dada ao problema, ou seja, deve-se determinar o ciclo de produção para o lote dos n produtos, ou lote multiproduto. Definindo-se cada produto como um elemento j , tem-se o tempo do ciclo dado pela equação (4).

$$T_c^{**} = \sqrt{\frac{2 \sum_{j=1}^n c_{s_j}}{\sum_{j=1}^n (1 - \beta) r_{c_j} c_{e_j}}} \quad (4)$$

O tamanho de lote de cada um dos produtos pode ser calculado através da equação 5.

$$Q_{e_j} = r_{c_j} T_c^{**} = \sqrt{\frac{2 \sum_{j=1}^n c_{s_j} r_{c_j}^2}{\sum_{j=1}^n (1 - \beta) r_{c_j} c_{e_j}}} \quad (5)$$

Na figura 4 ilustra-se um exemplo de lote de produção cíclico para três produtos p1, p2 e p3.

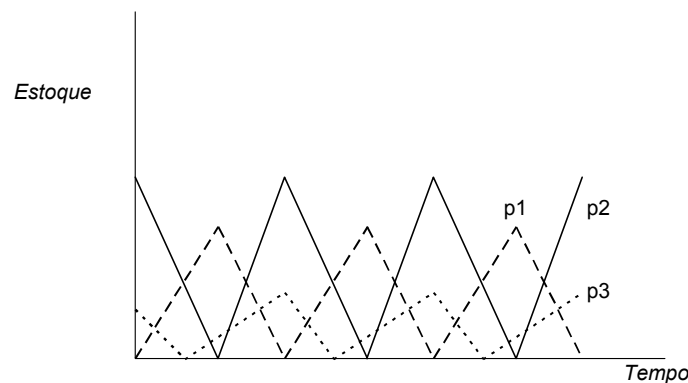


Figura 4. Um lote cíclico multiproduto

Uma applet para a solução deste problema foi desenvolvida, e a mesma se encontra no site www.grucon.ufsc.br/grima/Lote/Lote.html. Utilizou-se o Java Foundation Classes ("JFC", denominado de "Swing") para a implementação da interface gráfica (Sun Microsystems, 2000). Na figura 5 ilustra-se a interface gráfica da applet, e em sua parte superior são mostrados os dados que foram introduzidos para o cálculo do tamanho de lote ótimo. Na parte inferior mostra-se os resultados obtidos.

4. Balanceamento de Linha

O problema de balanceamento de linha consiste em combinar as tarefas individuais de processamento e montagem para que o tempo total exigido em cada estação de trabalho seja aproximadamente o mesmo (Groover, 1987). Se os elementos de trabalho podem ser

agrupados de modo a que todos os tempos em cada estação sejam exatamente iguais, ter-se-á o caso de um balanceamento perfeito da linha, e conseqüentemente a produção será suave. Entretanto, na maioria das situações práticas é muito difícil alcançar um balanceamento perfeito. Quando os tempos das estações de trabalho são diferentes, a estação mais lenta determina a taxa de produção global da linha.

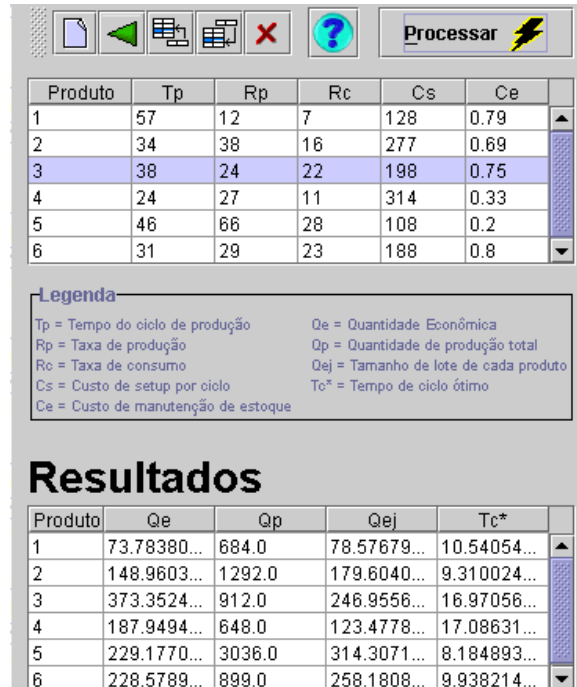


Figura 5. Applet para o cálculo do tamanho de lote para um mix de produtos.

Os elementos que compõem este problema são os seguintes:

- **Mínimo elemento de trabalho:** é a menor tarefa possível, isto é, uma tarefa que não pode ser subdividida em outras tarefas. Por exemplo, a execução de um furo com uma broca, ou a fixação de um parafuso. O tempo necessário para efetuar esse elemento mínimo de trabalho é representado por T_{ej} , onde j é usado para identificar um elemento dentre os n_e elementos que constituem a tarefa total. No presente trabalho o tempo de duração de um elemento de trabalho é considerado constante em vez de variável.
- **Tempo Total de Trabalho:** Este é a soma dos tempos de todos os elementos de trabalho a serem efetuados. Chamando-o de T_{tt} o tempo total de trabalho, tem-se:

$$T_{tt} = \sum_{j=1}^{n_e} T_{ej} \quad (6)$$

- **Tempo do Ciclo:** É o tempo do ciclo ideal ou teórico da linha, que corresponde ao intervalo de tempo entre as peças saindo da linha. O valor de projeto de T_c deve ser especificado de acordo com a taxa de produção desejada.
- **Restrições de Precedência:** Em quase todas as tarefas de processamento e montagem existem restrições de precedência, que restringem a seqüência para a execução da tarefa. Um exemplo disto é a necessidade de executar-se um furo antes da fabricação da rosca.
- **Atraso de Balanceamento:** Esta é uma medida da ineficiência da linha que resulta em tempo improdutivo devido à alocação imperfeita de trabalho para as estações. É simbolizado como d e é calculado como se segue:

$$d = \frac{nT_c - T_{tt}}{nT_c} \quad (7)$$

onde n é o número de estações. O atraso de balanceamento não deve ser confundido com a proporção de tempo de parada de uma linha automatizada, que é a medida da ineficiência que resulta em paradas na linha.

4.1. Métodos de Balanceamento de Linha

O agrupamento dos elementos de trabalho em estações é feito em dois passos: (i) coloca-se os elementos de trabalho numa determinada ordem segundo um critério preestabelecido, e (ii) atribui-se os elementos de trabalho às estações, levando em consideração as precedências e o tempo do ciclo desejado.

Neste item serão descritos três métodos de balanceamento de linha, que basicamente correspondem aos critérios para a ordenação dos elementos de trabalho. Estes três métodos foram implementados na applet. Nenhum desses métodos garante uma solução ótima, porém eles resultam em boas soluções.

4.1.1. Método do Maior Candidato

Nesse método, os elementos de trabalho são colocados em ordem decrescente de acordo com os seus valores de T_e . Posteriormente atribui-se os elementos de trabalho às estações.

4.1.2. Método de Kilbridge e Wester

Nesse procedimento seleciona-se os elementos de trabalho para atribuição às estações de acordo com a sua posição nos diferentes níveis de precedências do problema. Por exemplo, para o problema ilustrado na tabela 1, os elementos 1 e 2 não têm precedência, e portanto eles localizam-se no nível 1. O método de Kilbridge e Wester os colocaria no topo da seqüência. Por sua vez, os elementos 3, 4 e 5 possuem como precedências os elementos 1 e 2, e conseqüentemente estes elementos são alocados após os elementos 1 e 2 (isto é, no nível 2). Esta mesma lógica é aplicada até que todos os elementos sejam considerados. Isto supera algumas dificuldades com o método do maior candidato, decorrentes do fato que naquele método os elementos no fim do diagrama de precedência podem ser os primeiros candidatos a serem considerados, simplesmente porque seus valores T_e são elevados.

N°	Descrição do elemento	T_{ej} (min)	Precedido por
1	Colocar a base no fixador e afixar	0,2	-
2	Montar o conector no fio de força	0,4	-
3	Montar as braçadeiras na base	0,7	1
4	Enrolar o fio no motor	0,1	1,2
5	Conectar o fio ao relê	0,3	2
6	Montar a placa na braçadeira	0,11	3
7	Montar a lâmina na braçadeira	0,32	3
8	Montar o motor nas braçadeiras	0,6	3,4
9	Alinhar braçadeira e conectá-la ao motor	0,27	6,7,8
10	Montar o relê na braçadeira do motor	0,38	5,8
11	Montar a cobertura, inspecionar e testar	0,5	9,10
12	Colocar na caixa para empacotamento	0,12	11

Tabela 1. Elementos de trabalho para a manufatura de um aparelho elétrico (Groover, 1987)

4.1.3. Método do Pesos Posicionais ("RPW")

Nesse procedimento, o valor do peso posicional ("RPW" - "Ranked Positional Weight") é calculado para cada elemento. O RPW de um elemento j é calculado somando-se o T_e desse elemento com os T_{ej} de cada elemento que deverá ser executado posteriormente a ele. Por exemplo, para o elemento de trabalho 5 na tabela 1, o seu RPW

corresponde à soma do seu próprio T_e (isto é, 0,3 minutos) com o T_e dos seguintes elementos: 10, 11 e 12. O resultado desta soma é igual a 1,3 minutos.

Percebe-se que o método RPW leva em consideração tanto o valor de T_e de cada elemento, como a sua posição nos níveis de precedência. Os elementos são atribuídos às estações na ordem decrescente dos valores de RPW.

Os dados mostrados na tabela 1 foram utilizados para a execução da applet, e eles foram introduzidos como ilustrado na figura 6(a). Como na applet para o cálculo do tamanho de lote ótimo, utilizou-se também o "JFC" para a implementação da interface gráfica. Após a introdução dos dados, procede-se para a aplicação dos métodos, e os resultados são visualizados clicando-se no topo das fichas, onde são mostrados os nomes dos métodos de balanceamento.

Os resultados obtidos são ilustrados nas figuras 6(b-d). O link para este site é: www.grucon.ufsc.br/grima/Balance/Balance.html.

Kilbridge e Wester Pesos Posicionais (RPW)

Entrada de Dados Maior Candidato

Número de atividades: 12

Atividade	Duração (min)	Precedência(s)
1	0.2	
2	0.4	
3	0.7	1
4	0.1	1,2
5	0.3	2
6	0.11	3
7	0.32	3
8	0.6	3,4
9	0.27	6,7,8
10	0.38	5,8
11	0.5	9,10
12	0.12	11

Tempo do ciclo (minutos): 1.0

Efetuar balanceamento

(a) Entrada dos dados

Kilbridge e Wester Pesos Posicionais (RPW)

Entrada de Dados Maior Candidato

Estação	Atividades	Duração (min)
1	2,5,1,4	1.00
2	3,6	0.81
3	8,10	0.98
4	7,9	0.59
5	11,12	0.62

Duração total das atividades (min): 4.00

Tempo do ciclo atualizado (min): 1.00

Atraso de balanceamento 'd'(%): 20.00

(b) Maior candidato

Kilbridge e Wester Pesos Posicionais (RPW)

Entrada de Dados Maior Candidato

Estação	Atividades	Duração (min)
1	1,2,4,5	1.00
2	3,6	0.81
3	7,8	0.92
4	9,10	0.65
5	11,12	0.62

Duração total das atividades (min): 4.00

Tempo do ciclo atualizado (min): 1.00

Atraso de balanceamento 'd'(%): 20.00

(c) Kilbridge e Wester

Kilbridge e Wester Pesos Posicionais (RPW)

Entrada de Dados Maior Candidato

Estação	Atividades	Duração (min)
1	1,3	0.90
2	2,4,5,6	0.91
3	8,7	0.92
4	10,9	0.65
5	11,12	0.62

Duração total das atividades (min): 4.00

Tempo do ciclo atualizado (min): 0.92

Atraso de balanceamento 'd'(%): 13.04

(d) Pesos posicionais (RPW)

Figura 6. (a) Entrada de dados na applet de balanceamento de linha, e (b-d) resultados obtidos.

A solução resultante do método RPW representa uma atribuição mais eficiente dos elementos de trabalho às estações, comparando o atraso d deste método com o atraso dos outros dois métodos. Isto porque o agrupamento dos elementos de trabalho resultou num tempo de ciclo igual a 0,92 minutos. Entretanto, deve-se notar que se fosse introduzido o valor de 0,92 minutos inicialmente para os primeiros dois métodos, poder-se-ia atingir a mesma eficiência do método RPW.

5. Conclusões

Nesse artigo foram descritos dois programas desenvolvidos na linguagem Java para a solução de problemas tradicionais que ocorrem em sistemas de manufatura. Estas applets estão disponíveis para serem executadas através da Internet.

Qualquer pessoa possa executar estes programas. Estes programas podem ajudar estas pessoas a solucionar problemas de lotes ou balanceamento em suas empresas, ou então para facilitar o acesso de estudantes a estas soluções, por exemplo, para uma análise de sensibilidade aos dados.

Uma das vantagens do uso da linguagem Java está no fato que programas podem ser executados remotamente, independente do hardware ou sistema operacional do computador cliente. Entretanto, deve-se mencionar que Java é uma linguagem interpretada, e portanto é mais lenta do que linguagens compiladas como C e Pascal. Além disso, para que applets possam ser executadas no computador cliente, é necessário que o cliente possua o Java Virtual Machine ("JVM"), que pode ser obtido gratuitamente diretamente do site da Sun Microsystems (2000). O JVM ocupa cerca de 20 Mbytes no computador após instalado.

Dentre os futuros programas de auxílio à manufatura a serem desenvolvidos no futuro incluem-se: um módulo para a modelagem de peças através de elementos como furos e cavidades; geração de planos de processo contendo alternativas; geração de programas NC para a usinagem de peças.

6. Referências

- Altavista, 2001, "Altavista - Welcome", <http://www.altavista.com>
- Cybercut, 2000, "Cybercut Project",
http://cybercut.berkeley.edu/html/design/webcad_user.htm
- Cyberlearning Universe, 2001, "Free Online Computer Training, Free Online IT Training",
<http://www.cyberlearning.org>
- Gosling, J. e McGilton, H., 1995, "The Java Language Environment", White Paper, Sun Microsystems
- Groover, M.P., 1987, "Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing", Prentice-Hall
- Lorini, F.J., 1993, "Tecnologia de Grupo e Organização da Manufatura", Editora da UFSC
- Nissan, 2001, "California Nissan Dealers", <http://www.enissan.com>
- Robosim Project, 1999, "Robosim", <http://www.ee.uwa.edu.au/~braunl/robosim/java>
- Saturn, 2000, "Saturn Cars", <http://www.saturncars.com>
- Sun Microsystems, 2000, "The Source for Java™ Technology", <http://java.sun.com>
- Telerobot Project, 1998, "Australia's Telerobot on the Web",
<http://telerobot.mech.uwa.edu.au>
- Yahoo, 2001, "Yahoo!", <http://www.yahoo.com>