Universidade Federal do Rio de Janeiro
Departamento de Ciência da Computação

Trabalho de Simulação

Autores:
Marco Vinícius Lima Reina de Barros
Pedro Henrique Pereira de Jesus
Ronald Andreu Kaiser

Todos os membros do grupo participaram da implementação do código e da documentação do relatório.

28 de Novembro de 2010

Conteúdo

Capítulo 1

Introdução

1.1 Funcionamento geral

O simulador possui uma lista de eventos que é processada continuamente, até alcançar um número máximo de clientes que desejamos atender por rodada.

São executadas tantas rodadas quanto forem necessárias até todos os intervalos de confiança dos valores que estão sendo estimados forem válidos, ou seja, <= 10% da média do estimador.

Inicialmente, calculamos o tempo de chegada do primeiro cliente que representa um evento de chegada no sistema. A passsagem de um cliente pelo sistema possibilita a criação dos seguintes eventos:

- <tempo, tipo: chegada no sistema>
- <tempo, tipo: entrada no servidor pela primeira vez>
- <tempo, tipo: saída do servidor>
- <tempo, tipo: entrada no servidor pela segunda vez>

Quando um evento de chegada ocorre, outro evento de chegada é criado com o tempo definido com o tempo de chegada baseado em uma distribuição exponencial, que representa o tempo de chegada do próximo cliente. Deste modo, os clientes vão chegando no sistema e a lista de eventos é processada.

Quando um evento é processado, ele é removido da lista de eventos e os novos eventos gerados a partir deste são criados e adicionados na lista, ordenada pelos tempos em que cada evento ocorre.

Todos os parâmetros, descritos na seção 1.7 são passados para o simulador em sua inicialização.

1.2 Estruturas internas utilizadas

Para viabilizar a implementação da ideia geral apresentada acima, dividimos o simulador em alguns módulos, abaixo estão explicitados os mais importantes:

Módulos utilitários:

- Estimator: Módulo que possui métodos para retornar os estimadores de média, variância e calcula intervalos de confiança.
- Dist: Módulo com o método que retorna os tempos aleatórios de chegada de uma distribuição exponencial.

Classes:

- Client: classe que representa um cliente que entra no sistema. Possui seus tempos de entrada e saída da fila, tempo no servidor e cor.
- EventHeap: classe que representa a lista de eventos que é processada durante uma rodada de simulação.
- Simulator: classe que implementa a lógica principal do simulador, processa as rodadas tratando os eventos e as chegadas dos clientes. E calcula as estimativas das variáveis aleatórias.
- Analytic: classe que serve para calcular os resultados de forma analítica.

1.3 Linguagem de Programação

Para a codificação do simulador foi utilizada a linguagem de programação Python, versão 2.5.5.

1.4 Geração de variáveis aleatórias

A linguagem Python utiliza o gerador de números aleatórios "Mersenne Twister", um dos métodos mais extensivamente testados existentes.

O método garante que a sequência de números gerados pela chamada random() só se repetirá em um período de $2^{19937} - 1$. Como o período é bem extenso, não precisamos nos preocupar com redefinir seeds que gerassem sequências sobrepostas.

A semente inicial utilizada pelo gerador, por default, é o timestamp corrente no momento do import do módulo random.

1.5 Métodos utilizados

Foi utilizado o método replicativo para a simulação.

1.6 Implementação do conceito de cores

O conceito de cores foi implementando adicionando o atributo "color"no objeto Client, que possui 2 valores: TRANSIENT ou EQUILIBRIUM. O número de clientes que representam a fase transiente são associados à cor TRANSIENT e os outros clientes são associados à cor EQUILIBRIUM.

Ao final da rodada de simulação os clientes que possuem a cor TRANSIENT são descartados do cálculo dos estimadores.

1.7 Escolha dos parâmetros

Ao iniciar o simulador, são executados em sequência todas as simulações necessárias para obtermos todos os dados requeridos para ambas as políticas de atendimento com os parâmetros:

- $\rho = 0.2$ - # de clientes na frase transiente = 30000
- $\rho = 0.4$ - # de clientes na frase transiente = 40000
- $\rho = 0.6$ - # de clientes na frase transiente = 80000
- $\rho = 0.8$ - # de clientes na frase transiente = 400000
- $\rho = 0.9$ - # de clientes na frase transiente = 500000

A escolha do número de clientes da fase transiente para cada utilização foi estimada de acordo com o que é exposto no capítulo 3.

O número de clientes que são avaliados a cada rodada, ou seja, pertencentes à fase de equilíbrio do sistema, é um parâmetro de entrada para o simulador. Para o cálculo dos resultados foram utilizados apenas os dados de 100.000 clientes, sem contar os presentes na fase transiente.

1.8 Máquina utilizada

As configurações da máquina utilizada para executar a simulação e os tempos de cada experimento são mostrados abaixo:

Configurações:

- Processador: Intel Core Duo 2 GHz
- Memória: 2GB DDR 2 667Mhz
- Sistema Operacional: MAC OS X 10.5.8 (Leopard)

Duração dos experimentos:

- $\rho = 0.2$ - F.C.F.S : 24.88s.
- $\rho = 0.2$ - L.C.F.S : 19.15s.
- $\rho = 0.4$ - F.C.F.S : 68.93s.
- $\rho = 0.4$ - L.C.F.S : 27.58s.
- $\rho = 0.6$ - F.C.F.S : 120.42s.
- $\rho = 0.6$ - L.C.F.S : 27.97s.
- $\rho = 0.8$ - F.C.F.S : 627.45s.
- $\rho = 0.8$ - L.C.F.S : 1037.33s.
- $\rho = 0.9$ - F.C.F.S : 3403.95s.
- $\rho = 0.9$ - L.C.F.S : 4732.28s.

Capítulo 2

Teste de Correção

Nesta seção você descreverá os testes de correção que foram efetuados para garantir o pleno funcionamento do simulador. Você deve demonstrar que o seu programa está simulando exatamente e com correção o esquema proposto. As fórmulas analíticas não podem ser utilizadas para garantir a correção. Servem apenas de orientação, pois na maioria das vezes partimos para a simulação exatamente por não termos os resultados analíticos. Procure rodar o simulador com cenários determinísticos com estatística conhecida, demonstrando que o programa está correto. Você deverá anexar comentários sobre a boa qualidade dos intervalos de confiança obtidos e como os valores exatos se encaixam nestes intervalos, para os diversos valores de r.

Capítulo 3

Estimativa da fase transiente

Os valores usados para a fase transiente de cada experimento foram estimados desenhando gráficos mostrando a geração dos valores da variância do tempo de espera na fila 2 (V(W2)) em 5 rodadas.

Esse estimador foi usado pois ele é o que converge mais lentamente para o intervalo de confiança válido. Este fato foi comprovado executando o simulador um número considerável de vezes para cada tipo de utilização do servidor.

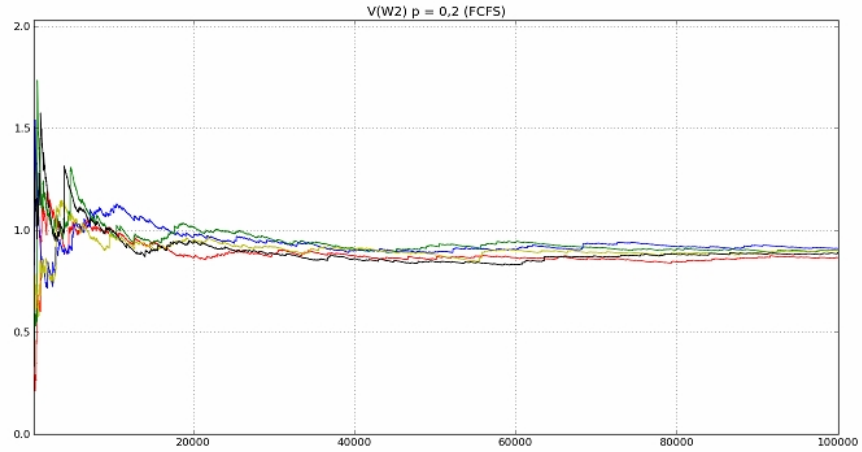
Foram gerados diversos gráficos para cada utilização, e em cada um deles a semente é diferente, já que ela é definida como está exposto na seção 1.4. Todos mostraram o mesmo comportamento. Escolhemos um de cada tipo de experimento para mostrar no relatório.

Com os gráficos gerados foi possível ter uma boa noção de que em que ponto o simulador começa a entrar na fase de equilíbrio. Eles são mostrados na seção 3.2.

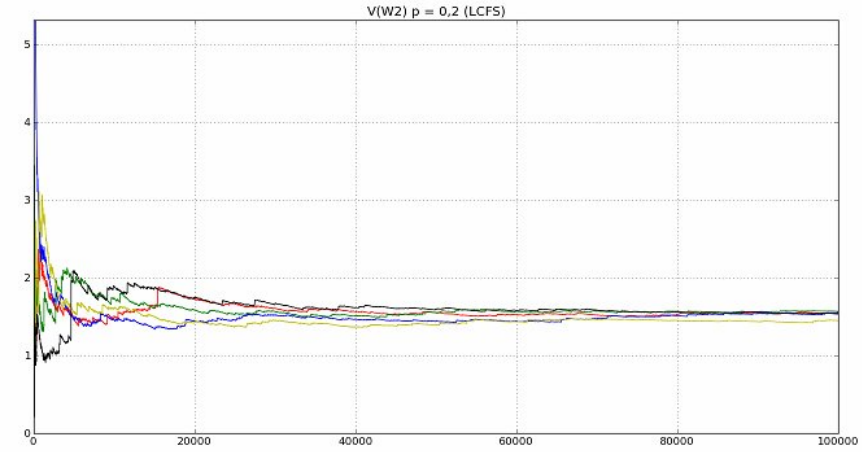
3.1 No simulador

Dentro do simulador esses valores de fase transiente para cada experimento são dados em uma lista junto com os valores das taxas de entrada.

3.2 Gráficos

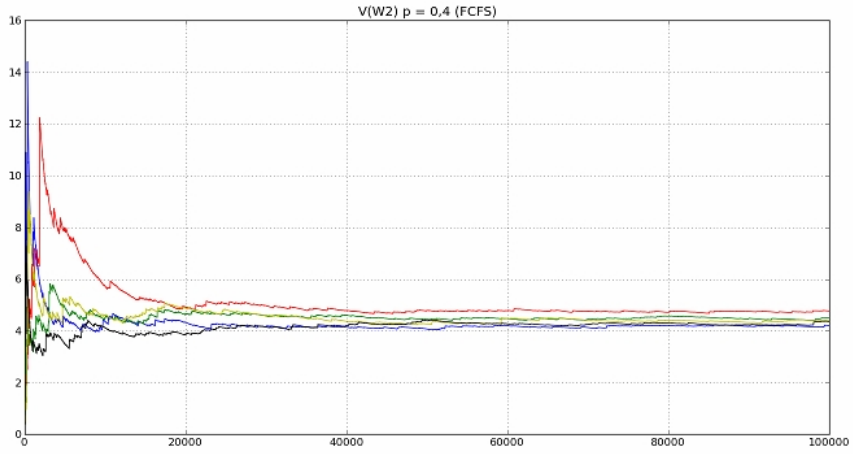


(a) First Come First Served

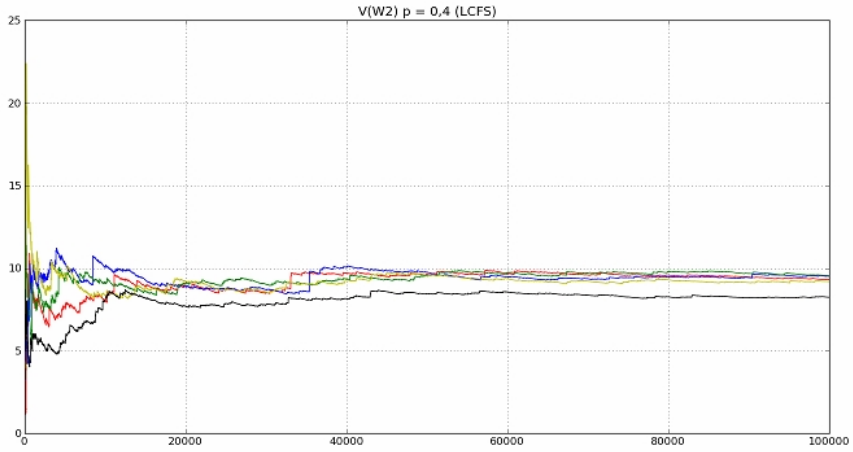


(b) Last Come First Served

Figura 3.1: V(W2) para $\rho = 0.2$. Nesse caso identificamos que a fase de equilíbrio começa quando aproximadamente 30.000 clientes já passaram pelo sistema.

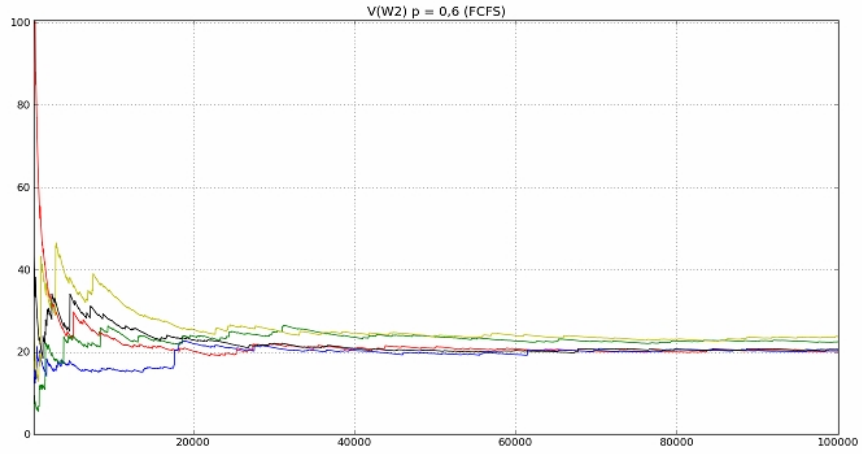


(a) First Come First Served

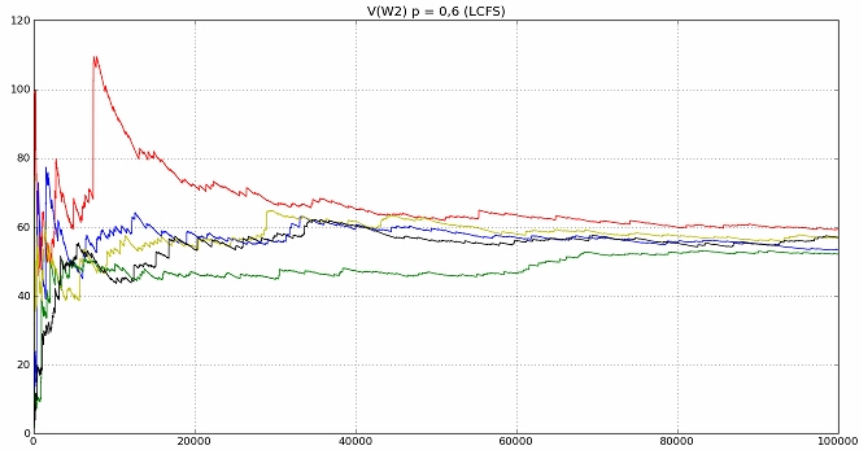


(b) Last Come First Served

Figura 3.2: V(W2) para $\rho = 0.4$. Nesse caso identificamos que a fase de equilíbrio começa quando aproximadamente 40.000 clientes já passaram pelo sistema.

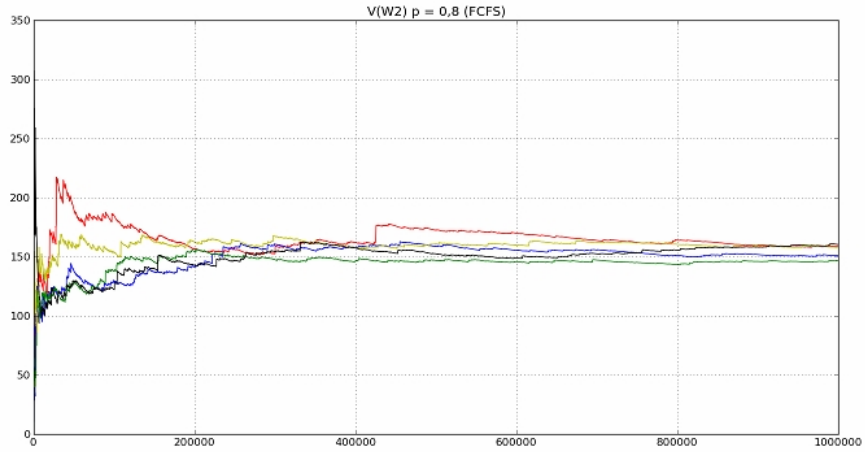


(a) First Come First Served

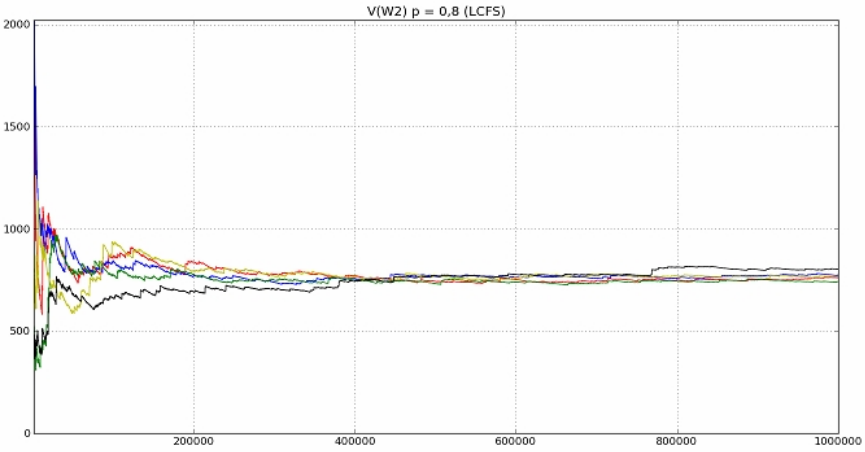


(b) Last Come First Served

Figura 3.3: V(W2) para $\rho = 0.6$. Nesse caso identificamos que a fase de equilíbrio começa quando aproximadamente 80.000 clientes já passaram pelo sistema.

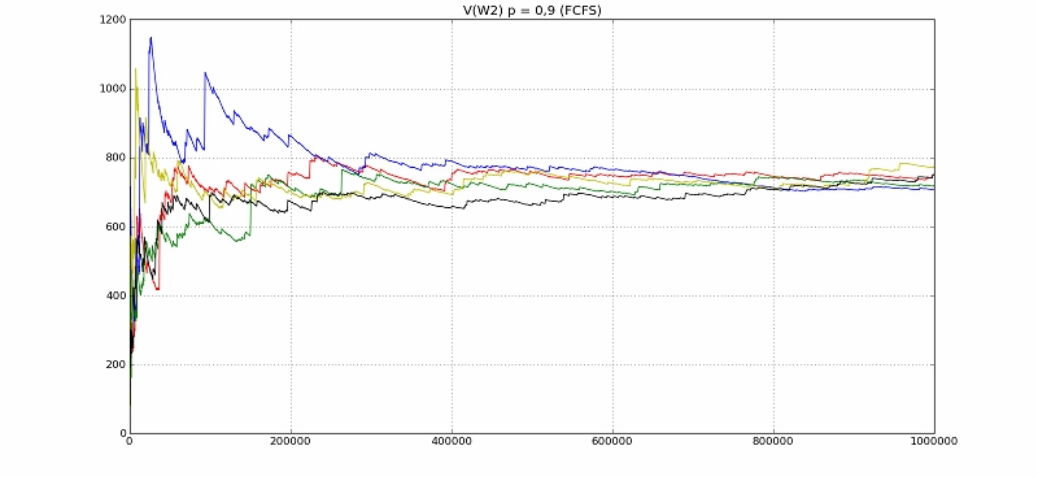


(a) First Come First Served

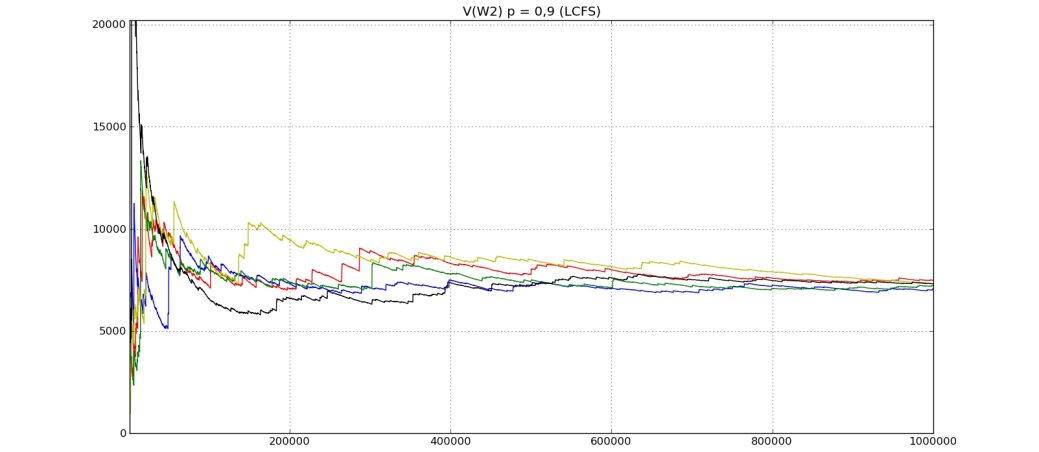


(b) Last Come First Served

Figura 3.4: V(W2) para $\rho = 0.8$. Nesse caso identificamos que a fase de equilíbrio começa quando aproximadamente 400.000 clientes já passaram pelo sistema.



(a) First Come First Served



(b) Last Come First Served

Figura 3.5: V(W2) para $\rho = 0.9$. Nesse caso identificamos que a fase de equilíbrio começa quando aproximadamente 500.000 clientes já passaram pelo sistema.

Capítulo 4

Resultados

Neste capítulo apresentamos os resultados obtidos na seção 4.1 e os comentários a respeito deles na seção 4.2.

4.1 Tabelas

Os resultados gerados pelo simulador são mostrados nas duas tabelas abaixo. O formato delas segue o seguinte padrão:

- Cada coluna representa um tipo de resultado (Tempo de espera na fila 1, etc.).
- Cada linha representa uma forma de utilização do servidor diferente.
- Cada célula contém respectivamente o valor analítico do resultado, o valor estimado pelo simulador e o tamanho do intervalo de confiança em % do valor estimado.

Tabela com os resultados para a politica de atendimento F.C.F.S										
uti.	**E[N1]**	**E[N2]**	**E[T1]**	**E[T2]**	**E[Nq1]**	**E[Nq2]**	**E[W1]**	**E[W2]**	**V(W1)**	**V(W2)**
0.2	0.12222	0.13056	1.22222	1.30556	0.02222	0.03056	0.22222	0.30556	0.44444	X
	0.12235	0.13034	1.22245	1.30357	0.02232	0.03048	0.22284	0.30408	0.45328	0.89774
	1.94%	2.64%	1.55%	2.31%	3.5%	5.98%	4.11%	6.5%	6.73%	9.38%
0.4	0.3	0.4	1.5	2.0	0.1	0.2	0.5	1.0	1.0	X
	0.29969	0.39933	1.49965	2.00103	0.09962	0.19957	0.49885	1.00104	0.98963	4.52897
	0.73%	1.63%	0.58%	1.87%	1.55%	2.9%	1.52%	3.46%	2.85%	8.97%
0.6	0.55714	1.13571	1.85714	3.78571	0.25714	0.83571	0.85714	2.78571	1.71429	X
	0.55845	1.13964	1.86446	3.81291	0.25813	0.83965	0.86328	2.81424	1.73843	22.21279
	0.71%	1.6%	0.7%	2.51%	1.08%	2.12%	1.21%	3.39%	2.4%	9.74%
0.8	0.93333	4.13333	2.33333	10.33333	0.53333	3.73333	1.33333	9.33333	2.66667	X
	0.93344	4.12212	2.33201	10.29418	0.53334	3.72216	1.33238	9.29394	2.66799	150.76599
	0.38%	1.34%	0.53%	3.0%	0.54%	1.48%	0.9%	3.32%	2.13%	9.85%
0.9	1.18636	11.12727	2.63636	24.72727	0.73636	10.67727	1.63636	23.72727	3.27273	X
	1.18532	11.06688	2.63626	24.62149	0.73556	10.61707	1.63607	23.62118	3.27872	766.03746
	0.17%	1.24%	0.39%	3.0%	0.24%	1.29%	0.59%	3.12%	1.52%	9.99%

Figura 4.1: Tabela com os valores para a política de atendimento First Come First Served.

Tabela com os resultados para a politica de atendimento L.C.F.S										
uti.	**E[N1]**	**E[N2]**	**E[T1]**	**E[T2]**	**E[Nq1]**	**E[Nq2]**	**E[W1]**	**E[W2]**	**V(W1)**	**V(W2)**
0.2	0.12222	0.13056	1.22222	1.30556	0.02222	0.03056	0.22222	0.30556	0.49931	X
	0.12224	0.13054	1.22401	1.30979	0.02214	0.03063	0.22194	0.30905	0.4945	1.54658
	1.43%	2.15%	0.82%	0.93%	2.76%	4.97%	0.79%	3.69%	6.33%	8.55%
0.4	0.3	0.4	1.5	2.0	0.1	0.2	0.5	1.0	1.3125	X
	0.2998	0.40095	1.49855	1.99848	0.09978	0.20087	0.49807	0.99834	1.32128	9.16262
	1.93%	1.89%	0.61%	0.85%	2.92%	3.67%	0.81%	2.35%	3.0%	7.34%
0.6	0.55714	1.13571	1.85714	3.78571	0.25714	0.83571	0.85714	2.78571	2.76385	X
	0.55606	1.12351	1.85354	3.76388	0.25627	0.82439	0.85329	2.76932	2.77179	59.26071
	0.44%	1.91%	1.02%	1.92%	1.1%	2.21%	1.15%	2.64%	8.99%	5.89%
0.8	0.93333	4.13333	2.33333	10.33333	0.53333	3.73333	1.33333	9.33333	5.62963	X
	0.93431	4.14681	2.33523	10.44639	0.5341	3.74652	1.33541	9.44607	5.61005	790.73029
	0.28%	1.18%	0.53%	2.4%	0.42%	1.29%	0.83%	2.64%	2.67%	9.96%
0.9	1.18636	11.12727	2.63636	24.72727	0.73636	10.67727	1.63636	23.72727	8.14125	X
	1.18593	11.11241	2.63293	24.5574	0.73595	10.66243	1.63331	23.55766	8.12877	7429.88892
	0.15%	0.96%	0.29%	2.18%	0.21%	0.99%	0.43%	2.27%	1.55%	9.95%

Figura 4.2: Tabela com os valores para a política de atendimento Last Come First Served.

O número de clientes avaliados em cada valor de utilização é explicitado na seção 1.7.

O número de rodadas e tamanho da fase transiente para cada tipo de experimento é mostrado abaixo (os tamanho das fases transientes também são mostrados no capítulo 3, mas são expostos aqui também para facilidade de leitura):

- $\rho = 0.2$ - F.C.F.S : 5 rodadas - 30.000 clientes na fase transiente.
- $\rho = 0.2$ - L.C.F.S : 4 rodadas - 30.000 clientes na fase transiente.
- $\rho = 0.4$ - F.C.F.S : 11 rodadas - 40.000 clientes na fase transiente.
- $\rho = 0.4$ - L.C.F.S : 5 rodadas - 40.000 clientes na fase transiente.
- $\rho = 0.6$ - F.C.F.S : 14 rodadas - 80.000 clientes na fase transiente.
- $\rho = 0.6$ - L.C.F.S : 4 rodadas - 80.000 clientes na fase transiente.
- $\rho = 0.8$ - F.C.F.S : 19 rodadas - 400.000 clientes na fase transiente.
- $\rho = 0.8$ - L.C.F.S : 31 rodadas - 400.000 clientes na fase transiente.
- $\rho = 0.9$ - F.C.F.S : 76 rodadas - 500.000 clientes na fase transiente.
- $\rho = 0.9$ - L.C.F.S : 106 rodadas - 500.000 clientes na fase transiente.

Como pode ser visto nas tabelas com os resultados, todos os valores analíticos se encontram dentro do intervalo de confiança estipulado pelo simulador.

4.2 Comentários

O valor da variância do tempo de espera da fila 2 não pode ser verificado analiticamente, portanto não há como ter certeza se o seu valor real se encontra dentro do intervalo de confiança. Porém podemos afirmar que há uma probabilidade grande dele se encontrar dentro do intervalo pois todos os outros valores estimados para a fila 2 estão dentro dos intervalos de confiança calculados.

Esse mesmo valor foi o que comumente mais demorou a convergir para o intervalo de confiança válido, como mostrado nas tabelas 4.1 e 4.2. Por isso usamos ele como métrica para definir a fase transiente como está mostrado na seção 3.

Verificamos empiricamente que avaliar 100.000 clientes por rodada de simulação fez com que os casos mais triviais, como por exemplo valor de utilização 0,2 e política de atendimento F.C.F.S chegassem aos valores desejados em um número menor de rodadas; e que os casos mais críticos, como $\rho = 0.9$ e política L.C.F.S, convergissem ao resultado de maneira adequada.

Ao executar o simulador, para os diversos casos, verificamos o fato de que mesmo com o acréscimo de rodadas, o intervalo de confiança pode aumentar. Fato este que é explicado em que certas rodadas podem gerar médias relativamente distantes umas das outras, aumentando assim o desvio padrão numa taxa maior que a raiz quadrada do número de amostras. Nos resultados isso pôde ser verificado nos casos $\rho = 0.4$ com política F.C.F.S e $\rho = 0.6$ com política F.C.F.S, onde o número de rodadas necessário para se chegar a um resultado válido é bem maior do que casos bastante parecidos, como $\rho = 0.4$ com política L.C.F.S.

Nos casos onde o valor de utilização se aproxima do limite para o sistema entrar em gargalo($\rho = 0.8$ e $\rho = 0.9$), o valor das variâncias encontradas diferem significativamente entre as duas políticas de atendimento usadas. No caso da fila 2, a variância para a política L.C.F.S chega a ser aproximadamente 10 vezes maior que a variância para a política F.C.F.S, em ambos os valores de utilização.

O caso mais crítico que foi avaliado ($\rho = 0.9$ e política L.C.F.S), requeriu um tempo muito maior para convergir ao resultado do que os demais casos, acreditamos que isso se deve a seu valor de utilização estar bem próximo do valor em que o sistema entra em gargalo, e que a variância da fila 2 é de uma ordem de grandeza muito maior que todos os demais valores calculados, portanto demora mais para convergir o seu intervalo de confiança a um resultado válido.

Capítulo 5

Otimização

O fator mínimo que satisfaz a validação do intervalo de confiança para todos os valores de utilização é o mesmo que satisfaz o caso mais crítico, ou seja, com o sistema com valor de utilização igual a 0,9.

Como o método utilizado para a simulação foi o replicativo, o tamanho da fase transiente é considerado em cada rodada do simulador.

5.1 Fatores mínimos

O valor calculado para os fatores mínimos de cada política são mostrados a seguir:

F.C.F.S (First Come First Served):

- FATOR MÍNIMO = $(\#rodadas)*(tamanhodarodada+fasestransientes)$
- FATOR MÍNIMO = $76 * (100.000 + 500.000)$
- FATOR MÍNIMO = 45.600.000

L.C.F.S (Last Come First Served):

- FATOR MÍNIMO = $(\#rodadas)*(tamanhodarodada+fasestransientes)$
- FATOR MÍNIMO = $106 * (100.000 + 500.000)$
- FATOR MÍNIMO = 63.600.000

Capítulo 6

Conclusões

Coloque aqui seus comentários finais. Descreva dificuldades encontradas, as otimizações feitas, e outras conclusões que você tirou do trabalho. Comente o que poderia ser melhorado, como, por exemplo, o tempo de execução do seu programa. Adicione quaisquer comentários que você julgar relevante. Cada uma das seções terá sua avaliação. Portanto, não deixe de colocar nenhuma seção no seu relatório. Se você não incluir uma seção, deixe-a em branco, mas não altere a numeração. Recomendamos fortemente que isso não ocorra. Não deixe de ler o capítulo de simulação na apostila.

Capítulo 7

Implementação

Este capítulo conterá o código fonte do simulador, dividido por tipo de módulo e ordenados por importância.

7.1 Classes

7.1.1 Simulator

Classe que implementa a lógica principal do simulador, processa as rodadas tratando os eventos e as chegadas dos clientes. E calcula as estimativas das variáveis aleatórias.

```
1 import sys
2 from collections import deque
3 from util.constants import *
4 from util.progress_bar import ProgressBar
5 from util import estimator as est
6 from util import dist
7 from client import *
8 from event_heap import *
9
10
11 class Simulator:
12
13     # Inicializacao do simulador
14     def __init__(self, entry_rate, warm_up,
           service_policy, clients, server_rate=1.0):
```

```
15          # Numero total de clientes = fase transiente +
                clientes a serem avaliados
16          self.total_clients = warm_up + clients
17          self.samples = 1
18          self.server_rate = server_rate
19          self.entry_rate = entry_rate
20          self.warm_up = warm_up
21          # Definido aqui o metodo a ser utilizado para
                retirar os clientes da fila e coloca-los no
                servidor,
22          # dependendo da politica de atendimento usada.
23          if service_policy == FCFS:
24              Simulator.__dict__['pop_queue1'] =
                    Simulator.pop_queue1_fcfs
25              Simulator.__dict__['pop_queue2'] =
                    Simulator.pop_queue2_fcfs
26              self.service_policy = 'First␣Come␣First␣
                    Served␣(FCFS)'
27          elif service_policy == LCFS:
28              Simulator.__dict__['pop_queue1'] =
                    Simulator.pop_queue1_lcfs
29              Simulator.__dict__['pop_queue2'] =
                    Simulator.pop_queue2_lcfs
30              self.service_policy = 'Last␣Come␣First␣
                    Served␣(LCFS)'
31          self.init_sample()
32          # Define o dicionario que ira guardar a soma e
                a soma dos quadrados das medias e variancias
                 estimadas a cada rodada.
33          self.sums = { 'm_s_W1': 0, 'm_s_s_W1': 0, '
                v_s_W1': 0, 'v_s_s_W1': 0,
34                        'm_s_N1': 0, 'm_s_s_N1': 0, '
                              m_s_Nq1': 0, 'm_s_s_Nq1': 0,
35                        'm_s_T1': 0, 'm_s_s_T1': 0, '
                              m_s_W2': 0, 'm_s_s_W2': 0,
36                        'v_s_W2': 0, 'v_s_s_W2': 0, '
                              m_s_N2': 0, 'm_s_s_N2': 0,
37                        'm_s_Nq2': 0, 'm_s_s_Nq2': 0, '
                              m_s_T2': 0, 'm_s_s_T2': 0 }
38          # Dicionario que ira guardar os resultados de
                cada estimador calculados pelo simulador.
```

```
39          self.results = {}
40
41      # Inicializa as estruturas de dados para cada
            rodada
42      def init_sample(self):
43          # Filas do sistema.
44          self.queue1 = deque([])
45          self.queue2 = deque([])
46          # Cliente que esta no servidor ( Quando esta
                variavel for nula significa que o servidor
                esta ocioso )
47          self.server_current_client = None
48          # Lista dos clientes que entraram no sistema
                durante a rodada.
49          self.clients = []
50          # Dicionario com a soma das variaveis que
                indicam o numero de pessoas nas filas (N) e
                em espera (Nq)
51          self.N_samples = { 'Nq_1': 0, 'N_1': 0, 'Nq_2':
                0, 'N_2': 0 }
52          self.warm_up_sample = self.warm_up
53          # Tempo do simulador.
54          self.t = 0.0
55          # Tempo do evento anterior ao que esta sendo
                processado.
56          self.previous_event_time = 0.0
57          # Lista de eventos.
58          self.events = EventHeap()
59          # Inicializa o simulador com o evento de
                chegada do primeiro cliente ao sistema.
60          self.events.push((dist.exp_time(self.entry_rate
                ), INCOMING))
61
62      # Inicia o simulador
63      def start(self):
64          # Inicializa a barra usada para medir o
                progresso do simulador
65          # Ela e contabilizada de acordo com o valor do
                menor intervalo de confianca encontrado a
                cada rodada,
```

```
66          # Chegando a 100% quando o intervalo chega a
                10% da media do estimador
67          prog = ProgressBar(0, 0.9, 77, mode='fixed',
                char='#')
68          print "Processando as rodadas:"
69          print prog, '\r',
70          sys.stdout.flush()
71
72          # Loop principal do simulador.
73          # Termina quando todos os intervalos de
                confianca forem menores que 10% da media do
                estimador.
74          while not(self.valid_confidence_interval()):
75              # Loop de cada rodada, processa um evento a
                    cada iteracao.
76              while len(self.clients) < self.
                    total_clients:
77                  self.process_event()
78              self.discard_clients()
79              # Processa os dados gerados por uma rodada.
80              self.process_sample()
81              if self.samples > 1:
82                  self.calc_results()
83                  prog.update_amount(max(prog.amount,
                        self.pb_amount()))
84                  print prog, '\r',
85              self.samples += 1
86              sys.stdout.flush()
87          print
88
89      # Metodo que processa um evento
90      def process_event(self):
91          # Remove um evento da lista para ser processado
                e atualiza o tempo do simulador
92          self.t, event_type = self.events.pop()
93
94          # Evento do tipo: Chegada ao sistema.
95          if event_type == INCOMING:
96              self.update_n()
97              # Define a cor do cliente, verificando se
                    ele chegou durante a fase transiente ou
```

```
            nao.
98          if self.warm_up_sample > 0:
99              new_client = Client(TRANSIENT)
100             self.warm_up_sample -= 1
101         else:
102             new_client = Client(EQUILIBRIUM)
103         # Adiciona o cliente na fila 1 e define o
                seu tempo de chegada nessa fila.
104         new_client.set_queue(1)
105         new_client.set_arrival(self.t)
106         self.queue1.append(new_client)
107         self.clients.append(new_client)
108         # Assim que uma chegada e processada,
                adiciona outro evento de chegada, dando
                o tempo que ela ira ocorrer.
109         self.events.push((self.t + dist.exp_time(
                self.entry_rate), INCOMING))
110         # Se o servidor estiver ocioso, adiciona o
                evento Entrada ao servidor pela fila 1
                para esse cliente na lista.
111         if not self.server_current_client:
112             self.events.push((self.t, SERVER_1_IN))
113
114     # Evento do tipo: Entrada ao servidor pela fila
            1.
115     elif event_type == SERVER_1_IN:
116         # Define o tempo que o cliente vai ficar no
                servidor.
117         server_time = dist.exp_time(self.
                server_rate)
118         # Adiciona o cliente no servidor e define o
                seu tempo de saida da fila 1.
119         self.server_current_client = self.
                pop_queue1()
120         self.server_current_client.set_leave(self.t
                )
121         self.server_current_client.set_server(
                server_time)
122         # Adiciona o evento Saida do servidor na
                lista.
```

```
123             self.events.push((self.t + server_time,
                    SERVER_OUT))
124
125         # Evento do tipo: Entrada ao servidor pela fila
                2.
126         elif event_type == SERVER_2_IN:
127             # Define o tempo que o cliente vai ficar no
                    servidor.
128             server_time = dist.exp_time(self.
                    server_rate)
129             # Adiciona o cliente no servidor e define o
                    seu tempo de saida da fila 2.
130             self.server_current_client = self.
                    pop_queue2()
131             self.server_current_client.set_leave(self.t
                    )
132             self.server_current_client.set_server(
                    server_time)
133             # Adiciona o evento Saida do servidor na
                    lista.
134             self.events.push((self.t + server_time,
                    SERVER_OUT))
135
136         # Evento do tipo: Saida do servidor.
137         elif event_type == SERVER_OUT:
138             self.update_n()
139             # Se a fila 1 possuir clientes, adiciona o
                    evento Entrada ao servidor pela fila 1
                    na lista.
140             if self.queue1:
141                 self.events.push((self.t, SERVER_1_IN))
142             # Se a fila 2 possuir clientes e a fila 1
                    vazia, ou se o sistema estiver vazio e o
                    cliente que
143             # esta no servidor entrou nele pela fila 1,
                    adiciona o evento Entrada ao servidor
                    pela fila 2 na lista.
144             elif self.queue2 or self.
                    server_current_client.queue == 1:
145                 self.events.push((self.t, SERVER_2_IN))
146
```

```
147             # Se o cliente que esta no servidor entrou
                    nele pela fila 1, adiciona ele na fila
                    2.
148             if self.server_current_client.queue == 1:
149                 self.queue_2_in()
150             # Senao, define que ele foi servido e saiu
                    do sistema.
151             else:
152                 self.server_current_client.set_served
                        (1)
153             self.server_current_client = None
154
155     # Metodo que trata a entrada de um cliente na fila
            2. Encapsulado para melhor legibilidade.
156     def queue_2_in(self):
157         # Pega o cliente do servidor e o adiciona na
                fila 2, definindo seu tempo de chegada na
                mesma.
158         client = self.server_current_client
159         self.queue2.append(client)
160         client.set_queue(2)
161         client.set_arrival(self.t)
162
163     # Atualiza o numero de pessoas nas filas a cada
            chegada, e chamado no inicio de eventos que
164     # fazem o tempo do simulador passar (Chegada ao
            sistema e Saida do servidor)
165     def update_n(self):
166         # Calcula o intervalo de tempo entre o evento
                atual e o imediatamente anterior.
167         delta = self.t - self.previous_event_time
168         # Define o numero de pessoas nas filas de
                espera
169         n1 = len(self.queue1)
170         n2 = len(self.queue2)
171         # Soma as variaveis estimadas (Nq1) e (Nq2) o
                numero de clientes na fila de espera
                multiplicado pelo
172         # intervalo de tempo (delta) em que as filas
                ficaram com esse numero de clientes.
173         self.N_samples['Nq_1'] += n1*delta
```

```
174             self.N_samples['Nq_2'] += n2*delta
175             # Testa se o cliente que esta no servidor, se
                    ele estiver ocupado, veio da fila 1 ou da
                    fila 2.
176             if self.server_current_client:
177                 if self.server_current_client.queue == 1:
178                     n1 += 1
179                 elif self.server_current_client.queue == 2:
180                     n2 += 1
181             # Soma as variaveis estimadas (N1) e (N2) o
                    numero de clientes na fila multiplicado pelo
182             # intervalo de tempo (delta) em que as filas
                    ficaram com esse numero de clientes.
183             self.N_samples['N_1'] += n1*delta
184             self.N_samples['N_2'] += n2*delta
185             # Atualiza o valor do tempo do evento anterior
                    pelo evento atual, ja que o simulador vai
                    processar o proximo evento.
186             self.previous_event_time = self.t
187
188         # Metodo que descarta os clientes da fase
                transiente e os clientes que ainda estao no
                sistema apos o termino do processamento
189         # da rodada.
190         def discard_clients(self):
191             served_clients = []
192             for client in self.clients:
193                 if client.served and client.color ==
                        EQUILIBRIUM:
194                     served_clients.append(client)
195             self.clients = served_clients
196
197         # Metodo que processa os dados gerados por uma
                rodada.
198         def process_sample(self):
199             s_wait_1 = 0; s_s_wait_1 = 0
200             s_wait_2 = 0; s_s_wait_2 = 0
201             s_server_1 = 0; s_server_2 = 0
202
203             # Loop que faz a soma e a soma dos quadrados
                    dos tempos de espera e a soma dos tempos em
```

```
        servidor
204     # Dos clientes na fila 1 e na fila 2.
205     for client in self.clients:
206         s_wait_1 += client.wait(1)
207         s_s_wait_1 += client.wait(1)**2
208         s_server_1 += client.server[1]
209         s_wait_2 += client.wait(2)
210         s_s_wait_2 += client.wait(2)**2
211         s_server_2 += client.server[2]
212
213     # Adiciona a soma e a soma dos quadrados dos
            estimadores os valores estimados na rodada.
214     self.sums['m_s_W1'] += est.mean(s_wait_1, len(
            self.clients))
215     self.sums['m_s_s_W1'] += est.mean(s_wait_1, len
            (self.clients))**2
216     self.sums['v_s_W1'] += est.variance(s_wait_1,
            s_s_wait_1, len(self.clients))
217     self.sums['v_s_s_W1'] += est.variance(s_wait_1,
             s_s_wait_1, len(self.clients))**2
218     self.sums['m_s_N1'] += est.mean(self.N_samples[
            'N_1'], self.t)
219     self.sums['m_s_s_N1'] += est.mean(self.
            N_samples['N_1'], self.t)**2
220     self.sums['m_s_Nq1'] += est.mean(self.N_samples
            ['Nq_1'], self.t)
221     self.sums['m_s_s_Nq1'] += est.mean(self.
            N_samples['Nq_1'], self.t)**2
222     self.sums['m_s_T1'] += est.mean(s_wait_1, len(
            self.clients)) + est.mean(s_server_1, len(
            self.clients))
223     self.sums['m_s_s_T1'] += (est.mean(s_wait_1,
            len(self.clients)) + est.mean(s_server_1,
            len(self.clients)))**2
224     self.sums['m_s_W2'] += est.mean(s_wait_2, len(
            self.clients))
225     self.sums['m_s_s_W2'] += est.mean(s_wait_2, len
            (self.clients))**2
226     self.sums['v_s_W2'] += est.variance(s_wait_2,
            s_s_wait_2, len(self.clients))
```

```
227         self.sums['v_s_s_W2'] += est.variance(s_wait_2,
                s_s_wait_2, len(self.clients))**2
228         self.sums['m_s_N2'] += est.mean(self.N_samples[
                'N_2'], self.t)
229         self.sums['m_s_s_N2'] += est.mean(self.
                N_samples['N_2'], self.t)**2
230         self.sums['m_s_Nq2'] += est.mean(self.N_samples
                ['Nq_2'], self.t)
231         self.sums['m_s_s_Nq2'] += est.mean(self.
                N_samples['Nq_2'], self.t)**2
232         self.sums['m_s_T2'] += est.mean(s_wait_2, len(
                self.clients)) + est.mean(s_server_2, len(
                self.clients))
233         self.sums['m_s_s_T2'] += (est.mean(s_wait_2,
                len(self.clients)) + est.mean(s_server_2,
                len(self.clients)))**2
234         # Inicializa as estruturas de dados para a
                proxima rodada.
235         self.init_sample()
236
237     # Metodo que calcula os resultados (valor e
            intervalo de confianca) para cada estimador.
238     def calc_results(self):
239         self.results = {
240             'E[N1]' : { 'value' : est.mean(self.sums['
                    m_s_N1'], self.samples), 'c_i' : est.
                    confidence_interval(self.sums['m_s_N1'],
                     self.sums['m_s_s_N1'], self.samples) },
241             'E[N2]' : { 'value' : est.mean(self.sums['
                    m_s_N2'], self.samples), 'c_i' : est.
                    confidence_interval(self.sums['m_s_N2'],
                     self.sums['m_s_s_N2'], self.samples) },
242             'E[T1]' : { 'value' : est.mean(self.sums['
                    m_s_T1'], self.samples), 'c_i' : est.
                    confidence_interval(self.sums['m_s_T1'],
                     self.sums['m_s_s_T1'], self.samples) },
243             'E[T2]' : { 'value' : est.mean(self.sums['
                    m_s_T2'], self.samples), 'c_i' : est.
                    confidence_interval(self.sums['m_s_T2'],
                     self.sums['m_s_s_T2'], self.samples) },
```

```
244             'E[Nq1]' : { 'value' : est.mean(self.sums['
                    m_s_Nq1'], self.samples), 'c_i' : est.
                    confidence_interval(self.sums['m_s_Nq1'
                    ], self.sums['m_s_s_Nq1'], self.samples)
                     },
245             'E[Nq2]' : { 'value' : est.mean(self.sums['
                    m_s_Nq2'], self.samples), 'c_i' : est.
                    confidence_interval(self.sums['m_s_Nq2'
                    ], self.sums['m_s_s_Nq2'], self.samples)
                     },
246             'E[W1]'  : { 'value' : est.mean(self.sums['
                    m_s_W1'], self.samples), 'c_i' : est.
                    confidence_interval(self.sums['m_s_W1'],
                     self.sums['m_s_s_W1'], self.samples) },
247             'E[W2]'  : { 'value' : est.mean(self.sums['
                    m_s_W2'], self.samples), 'c_i' : est.
                    confidence_interval(self.sums['m_s_W2'],
                     self.sums['m_s_s_W2'], self.samples) },
248             'V(W1)'  : { 'value' : est.mean(self.sums['
                    v_s_W1'], self.samples), 'c_i' : est.
                    confidence_interval(self.sums['v_s_W1'],
                     self.sums['v_s_s_W1'], self.samples) },
249             'V(W2)'  : { 'value' : est.mean(self.sums['
                    v_s_W2'], self.samples), 'c_i' : est.
                    confidence_interval(self.sums['v_s_W2'],
                     self.sums['v_s_s_W2'], self.samples) }
250         }
251
252     # Metodo que atualiza a barra de progresso com o
            valor do menor intervalo de confianca encontrado
            a cada rodada.
253     def pb_amount(self):
254         return 1 - max((2.0*self.results['E[N1]']['c_i'
                ]/self.results['E[N1]']['value']), \
255                        (2.0*self.results['E[N2]']['c_i'
                            ]/self.results['E[N2]']['
                            value']), \
256                        (2.0*self.results['E[T1]']['c_i'
                            ]/self.results['E[T1]']['
                            value']), \
```

```
257                         (2.0*self.results['E[T2]']['c_i']
                               /self.results['E[T2]']['
                               value']), \
258                         (2.0*self.results['E[Nq1]']['c_i
                               ']/self.results['E[Nq1]']['
                               value']), \
259                         (2.0*self.results['E[Nq2]']['c_i
                               ']/self.results['E[Nq2]']['
                               value']), \
260                         (2.0*self.results['E[W1]']['c_i']
                               /self.results['E[W1]']['
                               value']), \
261                         (2.0*self.results['E[W2]']['c_i']
                               /self.results['E[W2]']['
                               value']), \
262                         (2.0*self.results['V(W1)']['c_i']
                               /self.results['V(W1)']['
                               value']), \
263                         (2.0*self.results['V(W2)']['c_i']
                               /self.results['V(W2)']['
                               value']))
264
265     # Metodo que testa se todos os intervalos de
            confianca sao validos.
266     # So faz a validacao a partir da terceira rodada.
267     def valid_confidence_interval(self):
268         return not(self.samples <= 2) and \
269                 (2.0*self.results['E[N1]']['c_i'] <=
                       0.1*self.results['E[N1]']['value'])
                       and \
270                 (2.0*self.results['E[N2]']['c_i'] <=
                       0.1*self.results['E[N2]']['value'])
                       and \
271                 (2.0*self.results['E[T1]']['c_i'] <=
                       0.1*self.results['E[T1]']['value'])
                       and \
272                 (2.0*self.results['E[T2]']['c_i'] <=
                       0.1*self.results['E[T2]']['value'])
                       and \
273                 (2.0*self.results['E[Nq1]']['c_i'] <=
                       0.1*self.results['E[Nq1]']['value'])
```

```
                    and \
274                 (2.0*self.results['E[Nq2]']['c_i'] <=
                    0.1*self.results['E[Nq2]']['value'])
                    and \
275                 (2.0*self.results['E[W1]']['c_i'] <=
                    0.1*self.results['E[W1]']['value'])
                    and \
276                 (2.0*self.results['E[W2]']['c_i'] <=
                    0.1*self.results['E[W2]']['value'])
                    and \
277                 (2.0*self.results['V(W1)']['c_i'] <=
                    0.1*self.results['V(W1)']['value'])
                    and \
278                 (2.0*self.results['V(W2)']['c_i'] <=
                    0.1*self.results['V(W2)']['value'])
279
280     # Metodo que exibe os resultados junto com o numero
            de rodadas processadas e os retorna.
281     def report(self):
282         print "Exibindo os resultados:"
283         for key in self.results.keys():
284             print key, ': ', self.results[key]['value'
                    ], ' - I.C: ', self.results[key]['c_i']
285         print "Numero de rodadas :", self.samples
286         return self.results
287
288     # Metodos que tratam o transito dos clientes das
            filas para o servidor, de acordo com a politica
            de atendimento usada.
289     @staticmethod
290     def pop_queue1_fcfs(instance):
291         return instance.queue1.popleft()
292
293     @staticmethod
294     def pop_queue2_fcfs(instance):
295         return instance.queue2.popleft()
296
297     @staticmethod
298     def pop_queue1_lcfs(instance):
299         return instance.queue1.pop()
300
```

```
301     @staticmethod
302     def pop_queue2_lcfs(instance):
303         return instance.queue2.pop()
```

7.1.2 Client

Classe que representa um cliente que entra no sistema. Possui seus tempos de entrada e saída da fila, tempo no servidor e cor.

```
1  class Client:
2      def __init__(self, color):
3          # Tempo de chegada ao servidor (fila 1 e fila
               2)
4          self.arrival = {}
5          # Tempo de saida do servidor (fila 1 e fila 2)
6          self.leave = {}
7          # Tempo no servidor (fila 1 e fila 2)
8          self.server = {}
9          # Indicador que diz qual fila o cliente esta no
               momento
10         self.queue = 0
11         # Indicador que diz se o cliente ja foi servido
               e saiu do sistema
12         self.served = 0
13         # Cor do cliente (TRANSIENT e EQUILIBRIUM)
14         self.color = color
15
16     def set_arrival(self, arrival):
17         self.arrival[self.queue] = arrival
18
19     def set_leave(self, leave):
20         self.leave[self.queue] = leave
21
22     def set_server(self, server):
23         self.server[self.queue] = server
24
25     def set_queue(self, queue):
26         self.queue = queue
27
28     def set_served(self, served):
```

```
29          self.served = served
30
31      # Tempo de espera na fila = Tempo de saida da fila
            para o servidor - Tempo de chegada na fila.
32      def wait(self, queue):
33          return (self.leave[queue] - self.arrival[queue
                ])
```

7.1.3 EventHeap

Classe que representa a lista de eventos que é processada durante uma rodada de simulação.

```
1 import heapq
2
3
4 class EventHeap(list):
5     # Adicionar evento a lista
6     def push(self, (time, event_type)):
7         heapq.heappush(self, (time, event_type))
8
9     # Remover evento da lista
10    def pop(self):
11        return heapq.heappop(self)
```

7.1.4 Analytic

Classe que serve para calcular os resultados de forma analítica.

```
1 from util.constants import *
2
3
4 class Analytic:
5
6     def __init__(self, entry_rate, service_policy,
          service_rate=1.0):
7         self.entry_rate = entry_rate
8         self.service_policy = service_policy
9         self.service_rate = service_rate
```

```
10          self.utilization = 2.0*(entry_rate/service_rate
                )
11          self.X = 1.0/self.service_rate
12          self.results = { 'E[W1]' : 0.0, 'E[W2]' :
                0.0, 'E[T1]' : 0.0, 'E[T2]' : 0.0,
13                           'E[Nq1]' : 0.0, 'E[Nq2]' :
                                0.0, 'E[N1]' : 0.0, 'E[N2]
                                ' : 0.0,
14                           'V(W1)' : 0.0, 'V(W2)' : 'X'
                                }
15
16      # Metodo que define os valores de forma analitica.
17      def start(self):
18          self.results['E[W1]'] = (self.utilization*self
                .X)/(1.0 - self.entry_rate*self.X)
19          self.results['E[W2]'] = (self.utilization*self
                .results['E[W1]'] + 2.0*self.entry_rate*(
                self.service_rate**2))/(1.0 - self.
                utilization)
20          self.results['E[T1]'] = self.results['E[W1]']
                + self.X
21          self.results['E[T2]'] = self.results['E[W2]']
                + self.X
22          self.results['E[Nq1]'] = self.entry_rate*self.
                results['E[W1]']
23          self.results['E[Nq2]'] = self.entry_rate*self.
                results['E[W2]']
24          self.results['E[N1]'] = self.entry_rate*self.
                results['E[T1]']
25          self.results['E[N2]'] = self.entry_rate*self.
                results['E[T2]']
26          if self.service_policy == FCFS:
27              self.results['V(W1)'] = (4.0*self.
                    utilization)/(2.0 - self.utilization)
28          elif self.service_policy == LCFS:
29              self.results['V(W1)'] = (4.0*self.
                    entry_rate)*(self.entry_rate**2 - self.
                    entry_rate + 1)/((1.0 - self.entry_rate)
                    **3)
30
```

```
31      # Metodo que exibe os resultados encontrados e os
            retorna.
32      def report(self):
33          print "Exibindo os resultados analiticos: "
34          for key in self.results.keys():
35              print key, ': ', self.results[key]
36
37          return self.results;
```

7.1.5 ResultParser

Classe que formata os resultados encontrados em um documento .html usando o parser DOM.

```
1 from xml.dom.minidom import *
2 from util.constants import *
3
4
5 class ResultParser:
6
7     def __init__(self, results):
8         self.results = results
9         self.doc = Document()
10
11    # Metodo que cria a estrutura html do documento e
          retorna o elemento <body>
12    def create_header(self):
13        html = self.doc.createElement('html')
14        header = self.doc.createElement('header')
15        title = self.doc.createElement('title')
16        title_text = self.doc.createTextNode("Tabelas
              com os resultados da simulacao")
17        body = self.doc.createElement('body')
18        self.doc.appendChild(html)
19        html.appendChild(header)
20        html.appendChild(body)
21        header.appendChild(title)
22        title.appendChild(title_text)
23
24        return body
```

```
25
26      # Metodo que cria as tabelas
27      def create_table(self, table_type, name):
28          table = self.doc.createElement('table')
29          table.setAttribute('cellspacing', '0')
30          table.setAttribute('cellpadding', '4')
31          table.setAttribute('border', '1')
32
33          tr = self.doc.createElement('tr')
34          th = self.doc.createElement('th')
35          th.setAttribute('align', 'center')
36          th.setAttribute('colspan', '31')
37          th.appendChild(self.doc.createTextNode("Tabela␣
                com␣os␣resultados␣para␣a␣politica␣de␣
                atendimento␣" + name))
38          tr.appendChild(th)
39          table.appendChild(tr)
40
41          tr = self.doc.createElement('tr')
42          th = self.doc.createElement('th')
43          th.setAttribute('align', 'center')
44          th.setAttribute('style', 'font-weight:␣bold')
45          th.appendChild(self.doc.createTextNode("uti."))
46          tr.appendChild(th)
47          headers = ['E[N1]', 'E[N2]', 'E[T1]', 'E[T2]',
                'E[Nq1]', 'E[Nq2]', 'E[W1]', 'E[W2]', 'V(W1)
                ', 'V(W2)']
48          for header in headers:
49              th = self.doc.createElement('th')
50              th.setAttribute('align', 'center')
51              th.appendChild(self.doc.createTextNode(
                    header))
52              tr.appendChild(th)
53          table.appendChild(tr)
54
55          utilizations = self.results[table_type].keys()
56          utilizations.sort()
57          for utilization in utilizations:
58              tr = self.doc.createElement('tr')
59              td = self.doc.createElement('td')
60              td.setAttribute('align', 'center')
```

```
61              td.setAttribute('style', 'font-weight: bold
                    ')
62              td.appendChild(self.doc.createTextNode(str(
                    utilization)))
63              tr.appendChild(td)
64              for key in headers:
65                  td = self.doc.createElement('td')
66                  td.setAttribute('align', 'center')
67                  div = self.doc.createElement('div')
68                  div.setAttribute('style', 'padding:5px;
                        ')
69                  if type(self.results[table_type][
                        utilization]['analytic'][key]).
                        __name__ == 'str':
70                      div.appendChild(self.doc.
                            createTextNode(str(self.results[
                            table_type][utilization]['
                            analytic'][key])))
71                  else:
72                      div.appendChild(self.doc.
                            createTextNode(str(round(float(
                            self.results[table_type][
                            utilization]['analytic'][key]),
                            5))))
73                  td.appendChild(div)
74                  div = self.doc.createElement('div')
75                  div.setAttribute('style', 'padding:5px;
                        border-top: 1px solid #000000;
                        border-bottom: 1px solid #000000')
76                  div.appendChild(self.doc.createTextNode
                        (str(round(float(self.results[
                        table_type][utilization]['simulator'
                        ][key]['value']), 5))))
77                  td.appendChild(div)
78                  div = self.doc.createElement('div')
79                  div.setAttribute('style', 'padding:5px;
                        ')
80                  div.appendChild(self.doc.createTextNode
                        (str(round(float((2.0*self.results[
                        table_type][utilization]['simulator'
                        ][key]['c_i']/self.results[
```

```
                    table_type][utilization]['simulator'
                    ][key]['value'])*100.0), 2)) + "%"))
81                  td.appendChild(div)
82                  tr.appendChild(td)
83              table.appendChild(tr)
84
85          return table
86
87      # Metodo que cria o documento html usando os
            resultados dados
88      def parse(self):
89          body = self.create_header()
90          table_fcfs = self.create_table(FCFS, 'F.C.F.S')
91          table_lcfs = self.create_table(LCFS, 'L.C.F.S')
92          table_lcfs.setAttribute('style', 'margin-top
                :100px')
93          body.appendChild(table_fcfs)
94          body.appendChild(table_lcfs)
95
96      # Metodo que escreve o documento DOM gerado em um
            arquivo .html no disco
97      def write(self, filename):
98          file = open(filename, "w")
99          print >>file, self.doc.toprettyxml()
100         file.close()
```

7.2 Modulos utilitarios

7.2.1 Estimator

Módulo que possui métodos para retornar os estimadores de média, variância e calcula intervalos de confiança.

```
1 import math
2 import scipy.stats
3
4
5 # Retorna o valor t de student para um intervalo de
      confianca de 95% e [samples] amostras.
6 def t_st_value(samples):
```

```
7       return scipy.stats.t.ppf(0.975, samples)
8
9   # Retorna a media estimada usando a soma [sum] dos
        valores calculados e o numero total [samples] de
        valores.
10  def mean(sum, samples):
11      return sum/float(samples)
12
13  # Retorna a variancia estimada usando a forma
        incremental usando a soma [sum] dos valores, a soma
        dos quadrados [square_sum]
14  # e o numero total [samples] de valores.
15  def variance(sum, square_sum, samples):
16      return square_sum/float(samples-1) - (sum**2)/float
            (samples*(samples-1))
17
18  # Retorna o limite do intervalo de confianca  usando a
        soma [sum] dos valores e a soma dos quadrados [
        square_sum]
19  # para calcular o desvio padrao e o numero de rodadas [
        samples].
20  def confidence_interval(sum, square_sum, samples):
21      std_deviation = math.sqrt(variance(sum, square_sum,
            samples))
22      return (t_st_value(samples)*std_deviation)/math.
            sqrt(samples)
23
24  if __name__ == "__main__":
25      print "Testando..."
26      list1 = [11.0, 5.0, 10.0, 9.0, 15.0, 6.0, 18.0,
            8.0, 12.0, 9.0, 5.0, 10.0, 7.0, 13.0, 15.0]
27      list2 = [10.0, 2.0, 15.0, 4.0, 5.0, 16.0, 8.0, 4.0,
            2.0, 19.0, 10.0, 2.0, 9.0, 10.0, 12.0]
28      print "Mean sample 1: ", mean(sum(list1), len(list1
            ))
29      print "Mean sample 2: ", mean(sum(list2), len(list2
            ))
30      print "Samples mean: ", mean((mean(sum(list1), len(
            list1)) + mean(sum(list2), len(list2))), 2)
31      print "Samples variance: ", variance((mean(sum(
            list1), len(list1)) + mean(sum(list2), len(list2
```

```
        ))), ((mean(sum(list1), len(list1))**2) + (mean(
        sum(list2), len(list2))**2)), 2)
32      print "Student's T value: ", t_st_value(10000)
```

7.2.2 Distribution

Módulo com o método que retorna os tempos aleatórios de chegada de uma distribuição exponencial.

```
1 import math
2 import random
3 import estimator
4
5
6 # Retorna um tempo aleatorio de uma distribuicao
      exponencial com taxa [rate].
7 def exp_time(rate):
8         return -(math.log(1.0 - random.random())/rate)
9
10 if __name__ == "__main__":
11         print "Testando..."
12         print estimator.mean(exp_time(2, 650))
```

7.2.3 Constants

Módulo que declara as constantes que são utilizadas pelo simulador.

```
1 # Constantes utilizadas para os tipos de eventos
      tratados pelo simulador
2 INCOMING = 1
3 SERVER_OUT = 2
4 SERVER_1_IN = 3
5 SERVER_2_IN = 4
6
7 # Constantes utilizadas para definir as cores dos
      clientes
8 TRANSIENT = 1
9 EQUILIBRIUM = 2
10
```

```
11 # Constantes utilizadas para definir a politica de
       atendimento das filas
12 FCFS = 1
13 LCFS = 2
```

7.2.4 Plot

Módulo que usa a biblioteca matplotlib para desenhar os gráficos necessários para a estimativa da fase transiente (Não é utilizado na versão final).

```
1 from math import sin, cos
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4
5 def plot(list, *args, **kwargs):
6     plt.plot(xrange(len(list)), list, *args, **kwargs)
7
8 def show(title):
9     plt.title(title)
10    plt.grid()
11    plt.show()
12
13 if __name__ == "__main__":
14    x = range(100)
15    y = [sin(item) for item in range(100)]
16    z = [cos(item) for item in range(100)]
17    plot(x, y, 'b-')
18    plot(x, z, 'r-')
19    show()
```

7.2.5 ProgressBar

Biblioteca usada para a construção da barra de progresso usada para efeito de visualização do progresso do processamento das rodadas do simulador.

Seu código não é apresentado aqui porque ele não foi escrito por nós e os seus créditos são devidamente citados em comentários no próprio fonte.