



Universidade do Porto

FEUP Faculdade de Engenharia

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Telecomunicações, Eletrónica e Computadores

Redes e Serviços de Comunicação

3. Simulação de um Sistema de Chamadas de Emergência

Unidade Curricular de Sistemas de Telecomunicações

Professor Mário Jorge Moreira Leitão

Baltasar de Vasconcelos Dias Aroso, up201404125

Ana Karina De Ponte, up201710798

4MIEEC_T_RC

Maio, 2018

1 Caracterização geral da metodologia de simulação

Os tipos de eventos considerados neste sistema foram os seguintes:

- Chegada à Proteção Civil (ARRIVAL_PC)¹
- Partida da Proteção Civil (DEPARTURE_PC)
- Chegada ao INEM (ARRIVAL_INEM)
- Partida do INEM (DEPARTURE_INEM)

Estes eventos são inseridos em filas de eventos onde cada elemento dessas filas contém 6 parâmetros na sua estrutura como é apresentado na figura 1.²

```
// Structure list definition
typedef struct{
    int type;
    double _time;
    double _arrival_time; // time scheduled when the event arrives into the PC
    double _predicted_time; // predicted time that the event spends in the PC buffer
    int buffer_elements; // number of elements that are in the PC buffer when this event arrives (excluding himself)
    struct list * next;
} list;
```

Figura 1: Elementos da estrutura do tipo lista (*list*)

Como podemos observar na figura 2 são utilizadas 3 filas no total: a fila que contém todos os tipos de eventos (*events*), a fila de espera dos eventos que têm que ser servidos pela PC (*buffer*) e a fila de espera dos eventos que têm que ser servidos pelo INEM (*buffer_inem*).

```
// PC variables
int arrival_events = 0, channels_pc = 0, buffer_size = L, buffer_events = 0;
list *events = NULL, *buffer = NULL;

// INEM variables
int inem_events = 0, channels_inem = 0;
list *buffer_inem = NULL;
```

Figura 2: Declaração das variáveis usadas para a utilização dos diferentes tipos de eventos

Todos os eventos criados partem do tipo **ARRIVAL_PC**, de onde, posteriormente, e segundo a probabilidade de ocorrência de 40% eventos para a PC e 60% eventos de emergência para o INEM, originam ou uma partida para os canais da PC caso estes estejam livres (DEPARTURE_PC), ou um evento de chegada para os canais do INEM (ARRIVAL_INEM). Para além disso geram sempre um novo evento do mesmo tipo (ARRIVAL_PC).

Já os eventos que passam para o tipo **DEPARTURE_PC** têm apenas duas hipóteses, ou um canal fica livre e dá origem a mais um evento do mesmo tipo por consequência de um elemento ARRIVAL_PC na sua fila de espera (*buffer*), ou dada a probabilidade de ocorrência dos dois tipos de chamadas, um elemento na sua fila de espera dá origem a uma chamada de emergência (ARRIVAL_INEM).

Dos eventos **ARRIVAL_INEM** derivam eventos DEPARTURE_INEM quando os canais de serviço do INEM estão disponíveis e uma de duas opções definidas seguindo a mesma lógica apresentada

¹Ao longo deste relatório, a sigla PC refere-se a Proteção Civil.

²Os parâmetros adicionados à biblioteca facultada contém comentários que indicam a sua funcionalidade como é apresentado na figura.

nos eventos *ARRIVAL_PC*: *DEPARTURE_PC* ou *ARRIVAL_INEM*.

Posteriormente a um evento **DEPARTURE_INEM** ocorre o mesmo que nos eventos *ARRIVAL_INEM*, com a diferença de que este evento gera eventos *DEPARTURE_INEM* caso haja algum evento desse tipo na sua fila de espera (*buffer_inem*) após a desocupação de um canal de serviço do INEM.

Estas relações entre os eventos são apresentadas na tabela 1.

Tipo de Eventos	Sequência de Eventos
<i>ARRIVAL_PC</i>	(<i>DEPARTURE_PC</i> ou <i>ARRIVAL_INEM</i>) e <i>ARRIVAL_PC</i>
<i>DEPARTURE_PC</i>	<i>DEPARTURE_PC</i> ou <i>ARRIVAL_INEM</i>
<i>ARRIVAL_INEM</i>	(<i>DEPARTURE_PC</i> ou <i>ARRIVAL_INEM</i>) e <i>DEPARTURE_INEM</i>
<i>DEPARTURE_INEM</i>	(<i>DEPARTURE_PC</i> ou <i>ARRIVAL_INEM</i>) e <i>DEPARTURE_INEM</i>

Tabela 1: Análise da Sequência dos Eventos

2 Descrição do programa de simulação

O programa de simulação é desenvolvido realizando uma verificação constante do tipo de evento que se insere no topo da lista de eventos, usando como critério de ordenação o tempo de chegada em ordem crescente. Depois, segundo o tipo que seja (de chegada ou partida, emergência ou não), são efetuadas decisões concretas e diferentes. Isto é explicado no pseudo-código a seguir:

Início da simulação:

Inicialização das variáveis

Criação de um primeiro evento de chegada

Atendimento dos eventos:

Escolha do primeiro evento da lista dos eventos

Registo dos parâmetros necessários

Remoção do evento da lista

Se evento de chegada da Proteção Civil:

Se canais livres:

Se emergência:

Criação de um evento de chegada no INEM -> Adicionar na lista de eventos

Senão:

Geração de um evento de partida -> Adicionar na lista de eventos

Senão se espaço livre no buffer:

Adicionar evento no buffer

Senão:

Perda do evento

Criação de um novo evento de chegada -> Adicionar na lista de eventos

Senão se evento de partida da Proteção Civil:

Um canal fica livre

Se eventos no buffer:

O canal é ocupado de novo

Remoção do evento no buffer

Se emergência:

Criação de um evento de chegada no INEM -> Adicionar na lista de eventos

Senão:

Geração de um evento de partida -> Adicionar na lista de eventos

Senão se evento de chegada no INEM:

Se canais livres:

Um canal do INEM é ocupado

Geração de um evento de partida no INEM

Um canal da Proteção Civil é libertado

Mesma verificação dos eventos no buffer que no caso do evento de partida da PC

Senão:

O evento é colocado no buffer do INEM

Senão se evento de partida no INEM:

Se eventos no buffer do INEM:

Geração de um evento de partida no INEM

Remoção do evento no buffer do INEM

Um canal da Proteção Civil é libertado

Mesma verificação dos eventos no buffer que no caso do evento de partida da PC

3 Descrição do algoritmo de previsão do atraso de espera das chamadas

O atraso de espera das chamadas é calculado em três fases distintas do programa, nos três momentos em que há um acesso à fila de espera e há a saída de um evento dessa lista (*buffer*). Isso ocorre nos eventos DEPARTURE_PC, ARRIVAL_INEM e DEPARTURE_INEM. Para o cálculo da previsão do tempo de espera adicionou-se duas variáveis à estrutura da lista, uma que indique esse tempo e outra que indica o número de elementos na fila de espera no momento em que o evento é adicionado. O cálculo é assim determinado segundo uma média deslizando com uma janela com um tamanho definido (M). A média deslizando segue a seguinte expressão:

$$avg_{delay} = avg_{delay} - \frac{avg_{delay}}{M} + \frac{new_{delay}}{M}$$

onde a variável new_{delay} corresponde a:

$$new_{delay} = \frac{tempo_{real}}{\#elementos_{fila} + 0.5}$$

Deste modo, é eliminado um elemento da média deslizando e adicionado outro tendo em conta o tempo que realmente demorou a sair do buffer e o número de eventos que tinha “à sua frente” no momento em que foi colocado na fila de espera. O 0.5 corresponde a um valor intermédio para o caso em que o evento é colocado na fila de espera e será o próximo a ser atendido. Pelo que o cálculo do tempo de previsão do atraso seria apenas multiplicar essa média pelo número de elementos na fila de espera no momento de inserção na mesma. Porém, dado que até haver uma amostra de eventos que saíram da fila de espera a média deslizando é nula, o erro do cálculo da previsão do atraso seria igual ao tempo real dos primeiros eventos. O valor inserido no tempo de previsão da estrutura do evento é, assim, definido de duas maneiras:

- para o caso em que ainda não há amostras define-se como o tempo de previsão a multiplicação do número de elementos na fila por metade do tempo de serviço tendo em conta que o próximo elemento a ser servido tem esse tempo médio de espera (ou acabou de chegar alguém para ser atendido, ou o canal vai ficar disponível);

$$\#elementos_{fila} \cdot 0.5 \cdot DM$$

- e em caso de já haver amostras considera-se a multiplicação entre a média deslizando e o número de elementos na fila de espera como o tempo de previsão;

$$\#elementos_{fila} \cdot avg_{delay}$$

4 Resultados de simulação

Os parâmetros utilizados para o dimensionamento do sistema foram os seguintes:

- $L = 5$ (Comprimento do buffer da Proteção Civil)
- $m = 19$ (Número de canais de atendimento da Proteção Civil e do INEM)

Estes parâmetros permitiram-nos obter os seguintes objetivos de desempenho:

- Probabilidade de uma chamada ser atrasada à entrada do sistema da Proteção Civil: 9,564%
- Probabilidade de uma chamada ser perdida à entrada do sistema da Proteção Civil: 0,521%
- Atraso médio das chamadas que sofrem atraso à entrada do sistema da Proteção Civil: 9,526 segundos.
- Atraso total médio das chamadas, desde que chegam ao sistema da Proteção Civil até serem atendidas pelo INEM: 53,903 segundos.

Para estes valores, a distribuição dos atrasos das chamadas (atrasos calculados à entrada do sistema, até as chamadas serem atendidas por um operador da Proteção Civil) apresenta-se a seguir:

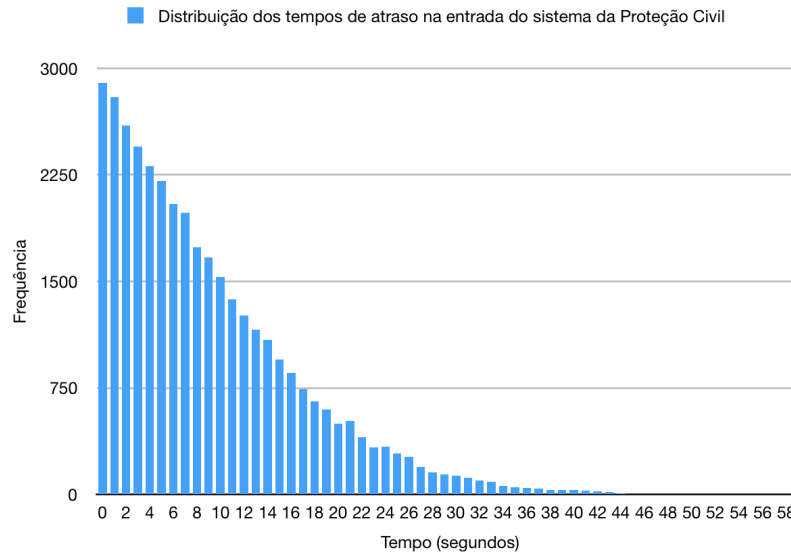


Figura 3: Distribuição dos atrasos das chamadas à entrada do sistema da Proteção Civil

O histograma do erro de previsão do tempo de espera na fila de entrada é o seguinte:



Figura 4: Histograma do erro de previsão do tempo de espera na fila de entrada do sistema da Proteção Civil

- **Erro de previsão absoluto:** 5,086 segundos

$$E_a = \frac{\sum_{i=1}^n |tempo_{previsto,i} - tempo_{real,i}|}{\#elementos_{fila}}$$

- **Erro de previsão relativo:** -1,301 segundos

$$E_r = \frac{\sum_{i=1}^n (tempo_{previsto,i} - tempo_{real,i})}{\#elementos_{fila}}$$

- **Desvio padrão do erro de previsão:** 6,681 segundos

Para o cálculo do desvio padrão foram usadas as seguinte fórmulas:

$$M(n) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$$S(n) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - M(n))^2}{n-1}$$

5 Análise de sensibilidade

Na figura 5 podemos observar um aumento do atraso médio com o aumento do tráfego oferecido à entrada, comportamento este que seria previsível dadas as variáveis em causa. A análise deste gráfico permite assim perceber os limites do programa tendo em conta os recursos acima mencionados e face aos objetivos definidos (neste caso um atraso médio inferior a 60 segundos). Pelo que pelo cálculo do intervalo de confiança verificamos que esse objetivo em nada fica comprometido para um intervalo de confiança de 90% numa situação nominal de 600 chamadas/hora. Observa-se ainda um aumento pouco significativo entre as 300 e as 550 chamadas por hora, sendo as 600 chamadas/hora uma boa escolha para os objetivos em causa.

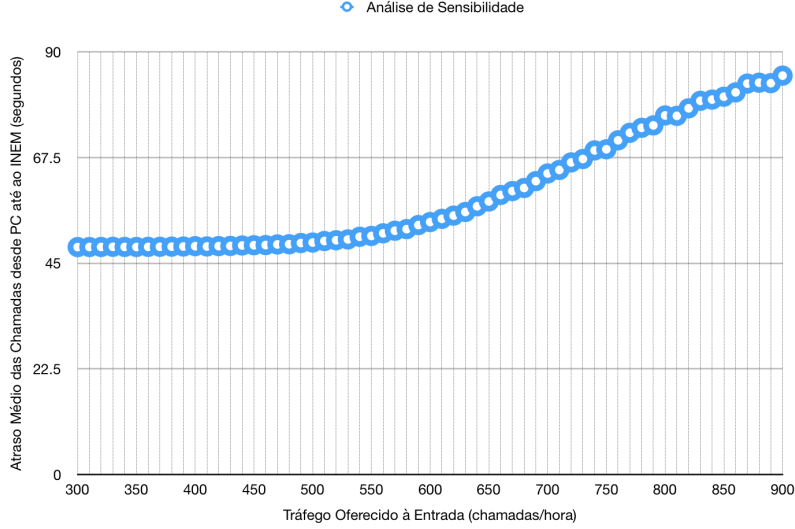


Figura 5: Análise de Sensibilidade observando o comportamento do atraso médio das chamadas desde que chegam à PC até chegarem ao INEM através da variação do tráfego oferecido à entrada (chamadas por hora)

Para a análise de intervalos de confiança a 90% para o estimador do atraso total das chamadas, na situação nominal de 600 chamadas/hora temos os seguintes cálculos:

$$\bar{x} \pm Z_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\alpha = 90\% \implies Z_{0.45} = 1.65$$

$$\bar{x} = 53,762 \mid \sigma = 6,681$$

Portanto temos que:

$$I_C(90\%) : 53,762 \pm (1.65 \cdot 0.036) = 53,762 \pm 0.0594 \text{ segundos}$$