



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA



Telefonia Celular: Troncalização

CMS60808 – 2015/1

Professor: Bruno Fontana da Silva





INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

TRONCALIZAÇÃO



Troncalização

Nos primeiros sistemas de telefonia, um canal era alocado para cada assinante de forma dedicada e exclusiva.

Entretanto, isso não é eficiente para a comunicação entre pessoas (como serviços de voz), visto que os canais ficariam ociosos por vários e possivelmente longos períodos de tempo.

Troncalização

A troncalização é a agregação de múltiplos circuitos de assinantes em um único canal, observando o comportamento estatístico das conexões nos sistemas celulares.

Isso permite que um grande número de assinantes compartilhe um número consideravelmente menor de canais em uma mesma célula.

Em sistemas troncalizados, um canal só é alocado a um assinante durante uma chamada. Ao fim da chamada, o canal é disponibilizado novamente no sistema.



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Unidade em homenagem ao dinamarquês Agner Krarup Erlang.

ERLANGS



Erlang

É uma medida de tráfego em telecomunicações. Representa o uso contínuo de um circuito de voz, ou seja, a quantidade de tráfego causada por um canal ocupado por um período de tempo completo e consecutivo.

“Uma chamada de **uma hora de duração**, em **uma hora de observação** terá um tráfego de **1 Erlang**.”

Em geral, costuma-se adotar a referência do tráfego durante 1 hora de observação.

Erlang

Exemplo de aplicação da medida:

“Chegam à célula 100×2 , isto é, 200 chamadas por hora, que ocupam 200×3 , ou seja, 600 minutos ou 10 horas.

Logo a demanda é de 10 horas por hora, ou seja 10 Erlangs.”

Modelos de Tráfego Telefônico

Existem diversos modelos estatísticos de tráfego telefônico, dentre os quais dois modelos bastante populares são:

Erlang B

e

Erlang C

Erlang B: *blocked calls cleared*

Assume-se ausência de tempo de setup (tempo requerido para alocar um canal a um usuário requisitante): o canal é alocado imediatamente ao usuário, desde que haja pelo menos um canal livre.

Se não há canais livres, o usuário é bloqueado.

Erlang B: *blocked calls cleared*

Hipóteses:

- a) Chamadas originam-se aleatoriamente e de forma independente entre si.
- b) Número de assinantes susceptíveis a receberem chamadas \gg número de canais disponíveis.
- c) Não é comum duas ou mais chamadas serem originadas no mesmo instante.

Erlang B: *blocked calls cleared*

Hipóteses:

- d) Qualquer usuário (incluindo bloqueados) pode requerer um canal a qualquer instante.
- e) A probabilidade de ocupação de canal por usuário é distribuída exponencialmente, de forma que chamadas mais longas são menos prováveis de ocorrer.
- f) Há um número finito de canais disponíveis no sistema de troncalização.

Erlang B: Grau de Serviço (GoS)

É medida de probabilidade de bloqueio de um usuário, ou seja, do usuário não encontrar um canal disponível para efetuar sua chamada em razão do congestionamento.

Representa um percentual de tentativas de comunicação mal sucedidas pelo usuário devido ao congestionamento do sistema.

Valores típicos: 2% a 5%.

Erlang B: Grau de Serviço (GoS)

A fórmula conhecida como **Erlang B** é dada por:

$$GoS = \frac{\frac{A^C}{C!}}{\sum_{k=0}^C \left(\frac{A^k}{k!} \right)}$$

na qual

A → intensidade de tráfego total oferecido

C → número de canais oferecidos pelo sistema troncalizado

Erlang B: Grau de Serviço (GoS)

Para um sistema com U usuários, a intensidade total de tráfego oferecido (A) é dada por:

$$A = A_u \times U$$

sendo A_u a intensidade de tráfego gerada por usuário dada por

$$A_u = \lambda \times H$$

H → duração média de uma chamada

λ → número médio de requisições de chamadas por unidade de tempo

Erlang C: *blocked calls delayed*

Quando todos os canais estão ocupados, uma nova chamada é bloqueada e o usuário é colocado em uma **fila de espera**.

Neste caso o **GOS** é a probabilidade de uma chamada ser bloqueada após esperar um determinado intervalo de tempo na fila.

Erlang C: Grau de Serviço (GoS)

Para determinar o **GoS** no sistema *blocked calls delayed* precisa-se primeiro definir a probabilidade de uma chamada ter o acesso inicialmente negado, dada pela fórmula conhecida como Erlang C:

$$P_r[\text{atraso} > 0] = \frac{A^C}{A^C + C! \left(1 - \frac{A}{C}\right) \sum_{k=0}^{C-1} \frac{A^k}{k!}}$$

Erlang C: Grau de Serviço (GoS)

A expressão que define o **GoS** no sistema *blocked calls delayed* fica então:

$$GoS = P_r[atraso > t]$$

$$GoS = P_r[atraso > 0] \times e^{-\frac{(C-A)t}{H}}$$

Erlang C: Grau de Serviço (GoS)

O atraso médio D para todas as chamadas em um sistema com fila é dado por:

$$D = P_r[\text{atraso} > 0] \times \frac{H}{C - A}$$

na qual o termo $\frac{H}{C-A}$ representa o atraso médio para chamadas que estão na fila.

Hora de Maior Movimento (HMM)

“É definida como o período de 60 minutos do dia nos quais a intensidade de tráfego de um grupo de canais atinge o seu valor máximo, tomada a média dos valores nos dias da semana.

O GoS determina a quantidade de troncos e equipamentos de comutação necessários para atender adequadamente o tráfego telefônico durante as horas de maior movimento.

Podemos em certas condições, considerar a HMM do sistema, de uma Cluster ou da célula mais congestionada.”

(BERGAMO, 2014)

Eficiência da Troncalização

A eficiência η é uma medida do número de usuários que pode ser oferecido a um particular GoS com uma configuração particular de canais, pode ser expressa pela seguinte equação:

$$\eta = \frac{\text{tráfego em Erlangs}}{\text{\#nm. de canais}} \times 100$$



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

EXERCÍCIOS



Exercício 01

Quantos usuários podem ser suportados para uma probabilidade de bloqueio de 0.5% para o seguinte número de canais troncalizados (por célula) em um sistema de chamadas bloqueadas liberadas?

- a) $C=1$
- b) $C=5$
- c) $C=10$
- d) $C=20$
- e) $C=100$

Assuma que cada usuário gera 0.1 Erlangs de tráfego.

Exercício 02

Uma área urbana possui uma população de dois milhões de residentes. Três empresas competidoras, baseadas em redes com sistemas troncalizados (sistemas *A*, *B* e *C*), oferecem serviços celulares nessa área. O **sistema A** possui 394 células com 19 canais cada. O **sistema B** possui 98 células com 57 canais cada. O **sistema C** possui 49 células com 100 canais. Encontre o número de usuários que podem ser suportados com uma **probabilidade de bloqueio de 2%** se cada usuário faz uma média de **2 ligações por hora** com uma média de **3 minutos de duração por chamada**. Assuma que os três sistemas troncalizados são operados na capacidade máxima, compute a porcentagem de mercado abrangido por cada operadora celular.



Exercício 03

Uma certa cidade possui uma área de 1300 milhas quadradas e é coberta por um sistema celular utilizando um padrão de reuso de 7 células. Cada célula possui um raio de 4 milhas e é alocada para a cidade uma banda de 40 MHz com canais full-duplex de largura de banda de 60 kHz. Assuma que é especificado um GoS de 2% para um sistema Erlang B. Se o tráfego oferecido por usuário é de 0.03 Erlangs, compute:

- a) O número de células na área de serviço.
- b) O número de canais por célula.
- c) A intensidade de tráfego em cada célula.
- d) O tráfego máximo carregado.
- e) O número total de usuários que podem ser atendidos com um GoS de 2%.
- f) O número total de móveis por um único canal (é assumido que os canais são reutilizados).
- g) O número teórico máximo de usuários que poderiam ser atendidos simultaneamente pelo sistema.

Exercício 04

Uma célula hexagonal dentro de um sistema de quatro células possui um raio de 1387 km. Um total de 60 canais são utilizados em todo o sistema. Se a carga por usuário é de 0.029 Erlangs, $\lambda = 1$ ligações/hora, considerando um sistema Erlang C com uma probabilidade de atraso de ligações de 5%, calcule:

- Quantos usuários por km^2 serão suportados nesse sistema?
- Qual é a probabilidade de uma ligação atrasada (em fila) esperar mais de 10s?
- Qual é a probabilidade de uma ligação ser atrasada por mais de 10s?

Referências Bibliográficas

GOMES, N. R.; MACHADO, R. **Notas de aula**. Disciplina de Telefonia Celular (UFSM), 2011.
Disponível em <http://coral.ufsm.br/gpscom/professores/Renato%20Machado/telefoniam.html>

BERGAMO, R. T. **Apostila de Comunicações Móveis**. IFSC-SJ, 2013.

RAPPAPORT, T. S. **Wireless Communications: Principles and Practice**, 2ª ed., 2002.