

Tópicos em Telecomunicações

Simulação de Sistemas de Comunicação

Prof. André Noll Barreto

andrebarreto@ene.unb.br

<http://www.ene.unb.br/andre>

Objetivos do curso

- Discutir sobre a importância e principais aspectos do uso de simuladores para **análise de desempenho, padronização e concepção de melhoramentos** para sistemas de comunicações móveis.
- Apresentação das principais metodologias de simulação de sistemas de comunicações móveis.
- Explorar **os detalhes do que** pode ser feito com **Simulação para Sistemas de Comunicações** e de **como é** feito?
- **Exercitar com o uso das melhores práticas** o desenvolvimento de simuladores.

Ementa (1/3)

- Introdução
 - Por que simular?
 - Tipos de Simulação
 - Nível de abstração: Enlace/Sistema/Rede
 - Dinâmica/Estática
 - Orientada a Eventos/Orientada a Tempo
- Boas práticas e ferramentas
 - Controle de atividades (Scrum/Kanban)
 - Controle de Versionamento (Git)
 - Comunicação (Slack)
 - Regras de Estilo
 - Teste unitário
- Conceitos de estatística
 - Números pseudo-aleatórios
 - Intervalo de confiança

Ementa (2/3)

- Simuladores Estáticos
 - Modelo de perda de canal
 - Perda de percurso
 - Sombreamento
 - Cálculo de Interferência
- Simulador de Enlace
 - Esquemas de Transmissão/Modulação
 - Portadora única
 - Multiportadoras
 - Codificação
 - Modelagem de Canal
 - Imperfeições de RF
 - Estatísticas de desempenho

Ementa (3/3)

- Simulador Sistêmico Dinâmico
 - Protocolos de Múltiplo Acesso
 - Modelagem de Canal e Interferência
 - Modelo de Mobilidade
 - Modelagem de Tráfego
 - Interface Enlace-Sistêmica
 - Estatísticas de desempenho

Pré-Requisitos

A disciplina não tem pré-requisitos, mas os seguintes conhecimentos são desejáveis:

- Conhecimentos básicos de comunicações e redes
- Programação
 - Python preferencialmente, mas conhecimento prévio de qualquer outra linguagem serve
 - Noções de orientação a objetos

Metodologia

- O curso terá cunho prático, no qual os alunos deverão desenvolver por conta própria diferentes simuladores de comunicação
- Será usada uma metodologia de projeto, utilizando boas práticas e ferramentas comuns no mercado
- Os alunos deverão se cadastrar
 - no Trello – para controle de tarefas (~Kanban)
 - <https://trello.com/ppgeesimulacoes>
 - No Slack – para Comunicação
 - <https://ppgee-simulacao.slack.com/>

Metodologia

- As atividades de codificação serão feitas na linguagem **Python**
 - <https://www.python.org/>
 - Existem diferentes versões e distribuições de Python, assim como inúmeras bibliotecas, dentre elas
 - numpy (<http://www.numpy.org/>), “the fundamental package for scientific computing with Python”
 - Matplotlib (<http://matplotlib.org/>)
 - Recomendo o uso da distribuição Anaconda
 - <https://www.continuum.io/anaconda>
 - Já vem com numpy e matplotlib
 - Diferentes IDEs
 - Spyder (com Anaconda)
 - **PyCharm**

Metodologia

- Os códigos gerados devem ser salvos em um repositório público
 - <https://github.com/orgs/ppgee-simulacoes/>
- no Git (<https://git-scm.com/>) – para controle de versionamento e upload de código
 - Clientes de GIT:
 - Linha de comando (<https://git-scm.com/downloads>)
 - Outros clients, como Tortoise (<https://tortoisegit.org/>) para Windows

Acompanhamento e Avaliação

- Material Didático (slides, listas de exercícios) será indicado ou colocado à disposição no site <http://www.ene.unb.br/andre/teaching.html>
- Horário de Atendimento Presencial
 - Preferencialmente às 6^{as} feiras 8h00 – 12h00 (agendar antes)
 - Sala B1 76/15 (subindo a escada, primeira à esquerda)
- A avaliação será feita com base na participação do aluno nas atividades propostas e no cumprimento das tarefas de simulação.

Porque Simular Redes de Comunicações?

- Adquirir conhecimento sobre novas técnicas
 - Entendimento das interações entre diversas entidades/procedimentos
 - Avaliação do desempenho relativo de uma alternativa em relação a outra
 - Validação da análise inicial
- Responder questões quanto à viabilidade em redes reais
 - Análise de resultados
 - Testes de novas configurações
- Extensão para situações extremas
 - Sobrecarga da rede
 - Provimento de vários tipos de serviço

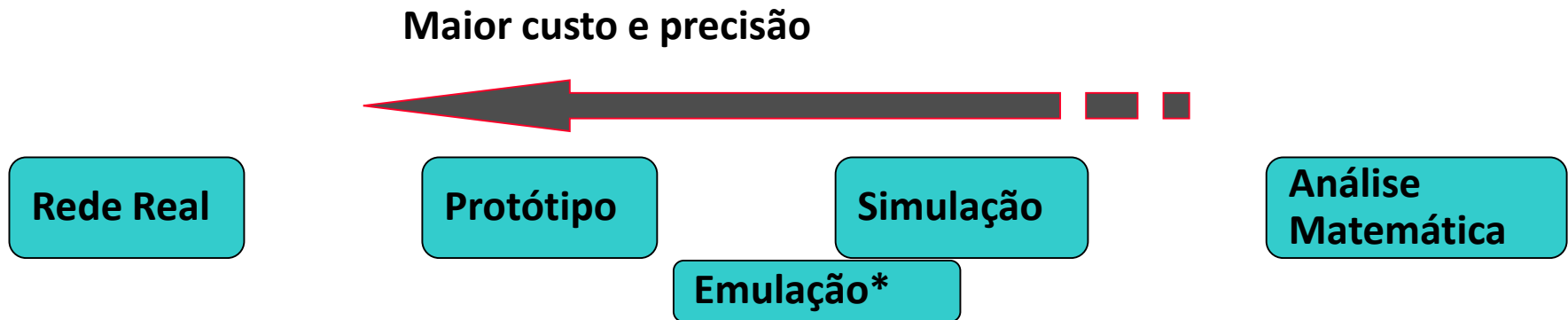
Porque Simular Redes de Comunicações?

- Sistemas de Comunicação estão aumentando de complexidade
 - Transmissão digital com codificação de canal; Modulação adaptativa; Reuso intensivo da frequência ;Múltiplas antenas de transmissão e recepção, Algoritmos complexos para alocação de recursos.
- Estudos puramente analíticos ou são inviáveis, devido à complexidade, ou demandariam simplificações que inviabilizaria alguns estudos
 - Interação entre as diferentes técnicas e algoritmos;
 - Ambiente de comunicações móveis: variabilidade e caracterização estatística de tráfego, a mobilidade e canal sem fio;
 - Apelo: apontar uma direção em relação ao desempenho de novas técnicas.
- Testes em redes reais de novos algoritmos e tecnologias são muitas vezes inviáveis
 - Redes completas são caras e necessitam de investimento para acompanhar as constantes atualizações dos padrões
 - Usuários podem ser negativamente afetados

Porque Simular Redes de Comunicações?

- Simuladores podem ajudar a entender o comportamento dos sistemas de comunicações móveis
 - Poder crescente dos computadores
 - Novas ideias podem ser rapidamente implementadas e testadas
- Modelos de simulação são somente uma abstração da realidade
 - Não podemos modelar tudo!
 - Simulações podem prover tendências e recomendações
 - Não pode substituir o teste em redes reais, contudo estudos qualitativos e quantitativos podem ser realizados

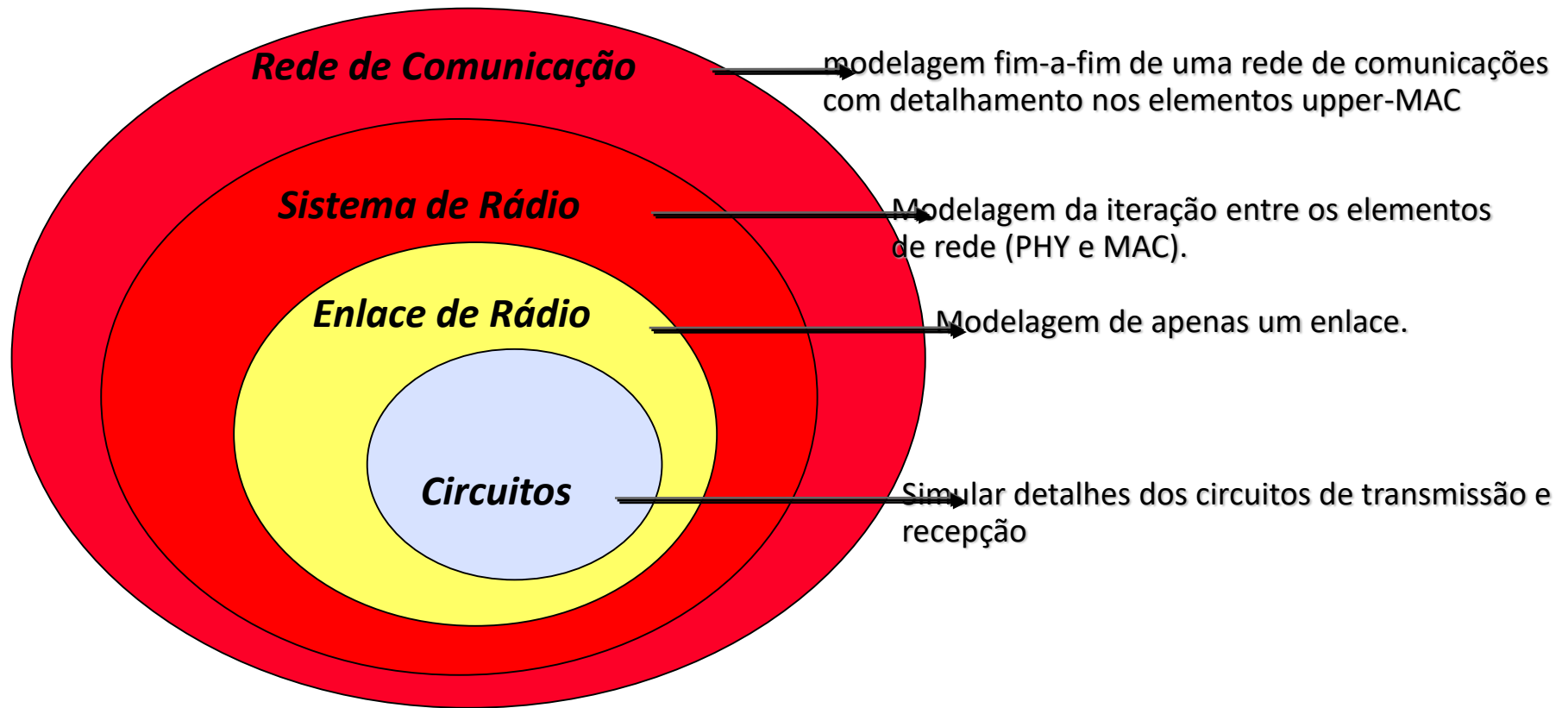
Porque Simular Redes de Comunicações Móveis?



Simulação é uma forma de meio termo (compromisso entre complexidade, precisão e custo) entre análise matemática e testes em ambientes reais

*simulação em uma rede viva = tempo real + elemento de rede real

Tipos de simuladores para sistemas de comunicações

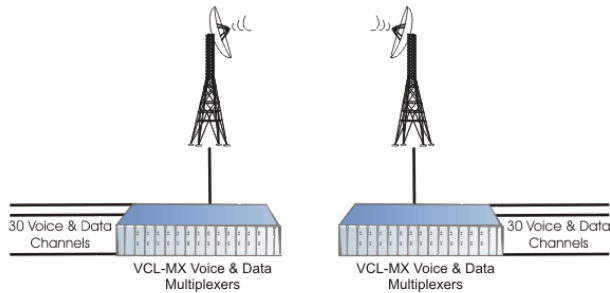


Tipos de simuladores

Simulação de enlace

- **Objetivo:** analisar o desempenho de apenas um enlace.

[VCL-MX E1, 2Mbps Voice & Data Multiplexers](#)
[Connecting over Digital Microwave Radio Links](#)



- **Principais Saídas (indicadores de desempenho)**

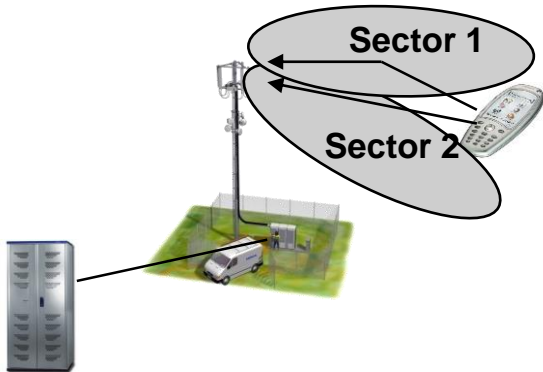
- Taxa de erro de bits (BER)
- Taxa de erro de quadros (BLER)

- **Detalhes do transmissor, receptor, codificação, modulação e canal são considerados nas simulações de enlace**
 - Detalhes de blocos de um sistema de comunicação digital são modelados
 - Detalhes de especificação dos circuitos elétricos que os compõem não são considerados.
- **Aplicações**
 - Estudos de novos:
 - Transceptores, Estimadores de canal, etc.
 - Investigar imperfeições de RF
 - Proporciona curvas de interface para simulações sistêmicas
 - Análise espectral do sinal
 - Padronização de tecnologias
 - Validação de novos conceitos (patentes)

Tipos de simuladores

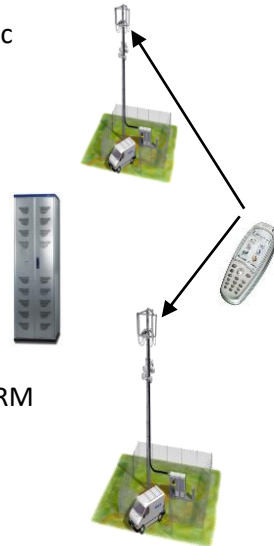
Simulação Sistêmica (PHY e MAC)

Objetivo: Análise de desempenho de uma rede sem fio considerando diferentes usuários e diversos elementos de rede. Assim, os impactos de cada conexão nos outros participantes do sistema de comunicações são avaliados por meio de métricas adequadas a qualidade e o desempenho do sistema.



- **Principais Saídas (indicadores de desempenho)**
 - Taxa de queda de chamada
 - Vazão (bits/s)
 - Qualidade da chamada
 - Bloqueio da chamada
 - Eficiência Espectral

- **Modelagem da iteração entre os elementos de rede**
 - Estação rádio base
 - Estações móveis ou terminais
 - Infra-estrutura rede: Redes Ad-hoc; redes hierárquicas, etc
- **Modelagem**
 - Desvanecimentos (pequena e larga escala)
 - Interferência
 - Mobilidade
 - Tráfego
 - Algoritmos de Gerência de Recurso de Rádio (RRM)
- **Aplicações**
 - Estudos:
 - Desempenho de uma rede sem fio
 - Desenvolvimento e Validação de algoritmos de RRM
 - Melhorar os indicadores de desempenho
 - Avaliação de conceitos para produtos
 - Pré-venda de novas features
 - Respostas a RFPs (Request for Proposal)
 - Padronização de Tecnologias
 - Validação de novos conceitos (patentes)



Tipos de simuladores

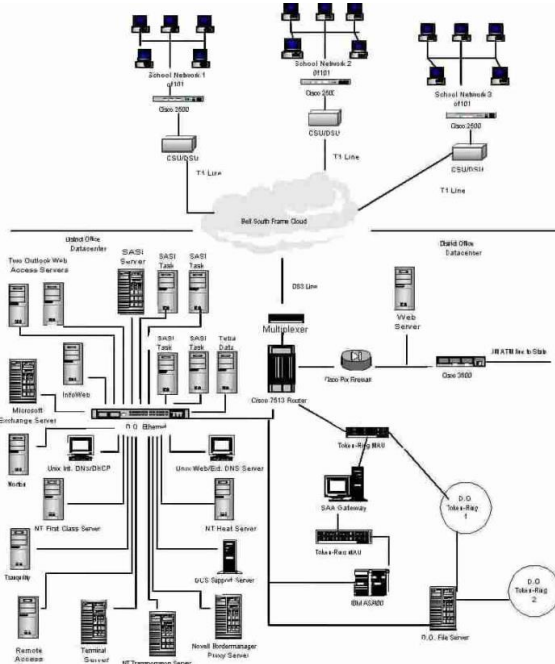
Simulação de Redes

Objetivo: modelagem fim-a-fim de uma rede de comunicações com detalhamento nos elementos upper-MAC, principalmente protocolos de rede, roteamento e sinalização de redes.

- **Modelagem completa da rede de dados/voz**
 - Routers
 - Gateways
 - Servers
 - Signalling protocols
 - Detailed traffic models

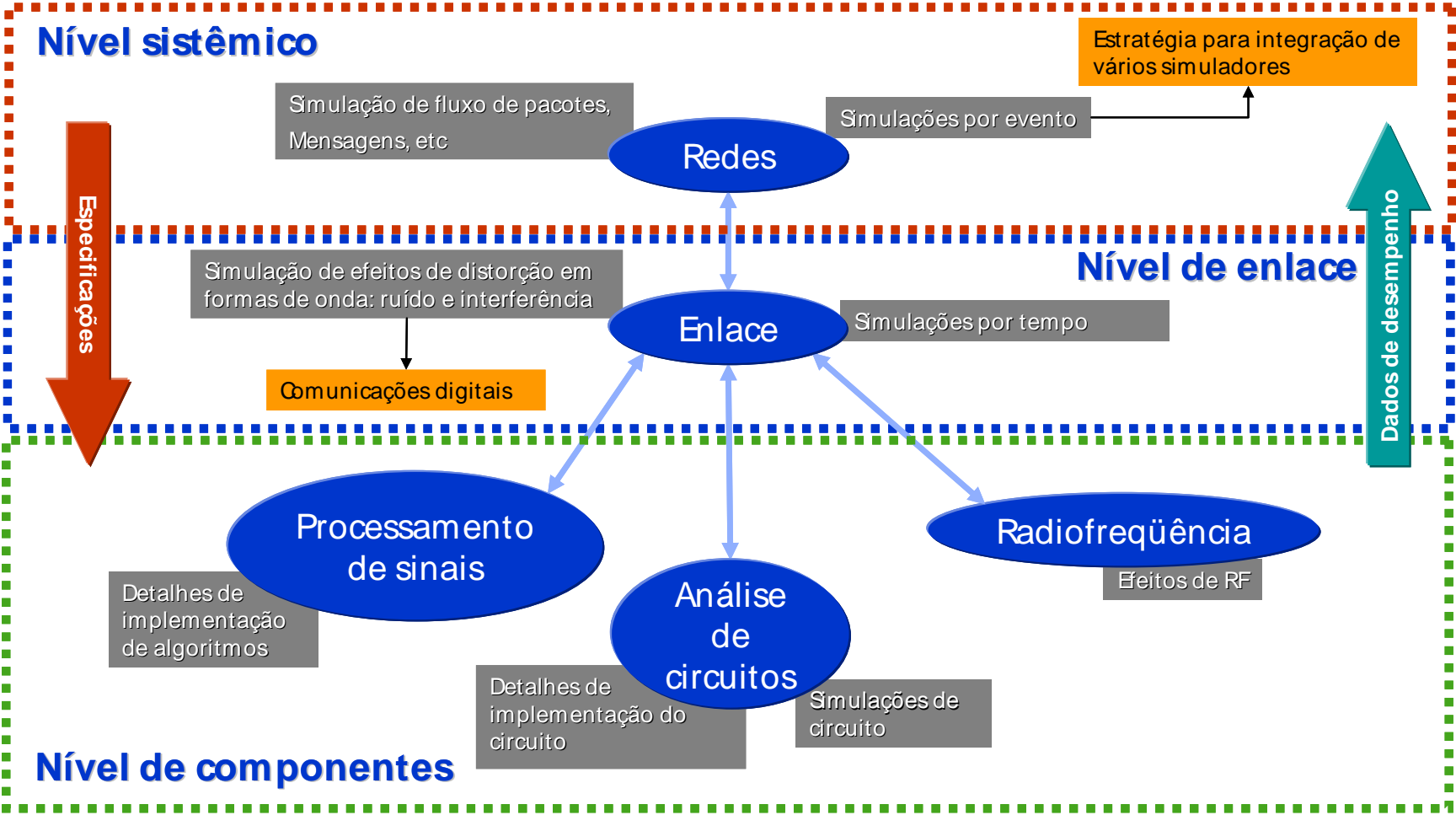
- **Aplicações**
 - projetar, debug e conceber novos protocolos de rede
 - Análise de desempenho fim-a-fim
 - Otimização de sinalização e melhoria de desempenho de terminais móveis (e.g. eficiência energética).

- **Principais Saídas (indicadores de desempenho)**
 - Métricas como vazão do sistema (bits/s)
 - Taxa de retransmissão
 - Tamanho médio de pacotes
 - Atraso fim-a-fim



Tipos de simuladores para sistemas de comunicações

Divisão hierárquica para simulação



Tipos de simuladores para sistemas de comunicações

Entradas:

Nível de sinal, nível de ruído, método de codificação, configuração da rede, número de BS, etc

Modelo de Simulação

Novos Algoritmos
Modelagem via Hardware, Software ou híbrida

Saídas:

BER, BLER, PER, Cobertura, Capacidade, Vazão, etc

Sim. Rede de Comunicação

Camada de Aplicação

Camada de Transporte

Camada de Rede

Sim. Sistema de Rádio

MAC

PHY

Sim. Enlace de Rádio

Sim. propagação de RF (planejamento celular)



Tipos de simulação para sistemas de comunicações

- Simulação distribuída
 - Ganho em Tempo de simulação
 - Complexidade deve ser observada, principalmente no overhead de comunicação entre os diversos nós paralelos
- Simulação baseada em software
 - Facilidade de upgrade, modelagem de novas features e flexibilidade na variação dos cenários de simulação
 - Tempo de simulação pode ser um problema (simulação distribuída pode ajudar)
- Simulação baseada em Hardware
 - Substancialmente rápida comparada a simulação baseada em software
 - Maior fidelidade nos resultados
 - Preço pode ser um problema comparado com a metodologia por software (compilador C++ e pesquisadores).

Aspectos Gerais de Simulação de Sistemas de Comunicação

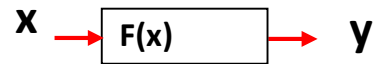
Dimensões de desempenho de uma simulação

- **Dimensões de desempenho de uma simulação:**
 - **Escalabilidade (scalability):** se refere ao impacto de aumentar o número de nós (ou carga de tráfego) nas métricas de desempenho da simulação. Alta escalabilidade: aumento no número de nós sem grande impacto no tempo de execução.
 - **Tempo de execução (execution speed):** tempo que a simulação leva para acabar, dado um conjunto de saídas e especificações de entrada.
 - **Fidelidade (fidelity):** grau de detalhamento da modelagem que é implementada no simulador para aproximar a abstração do modelo ao comportamento do sistema real.
 - **Custo (cost):** envolve gastos financeiros com a ferramentas (linguagem de programação e demais softwares), ambiente de simulação (grid de simulação) e recursos humanos (desenvolvimento e execução).
- **Geralmente são pontos conflitantes:**
 - Obtenção do compromisso é importante e deve ser obtida dependendo do objetivo final da simulação (ou limitações fora do alcance do pesquisador).
 - Tempo de execução rápido é o mais desejado: geralmente ele é uma função da escalabilidade e fidelidade.

Simulações de Enlace

Introdução

- Em geral, podemos representar o enlace por meio de um diagrama de blocos,
- Cada um representa uma função que processa o sinal de entrada independentemente de outras funções,

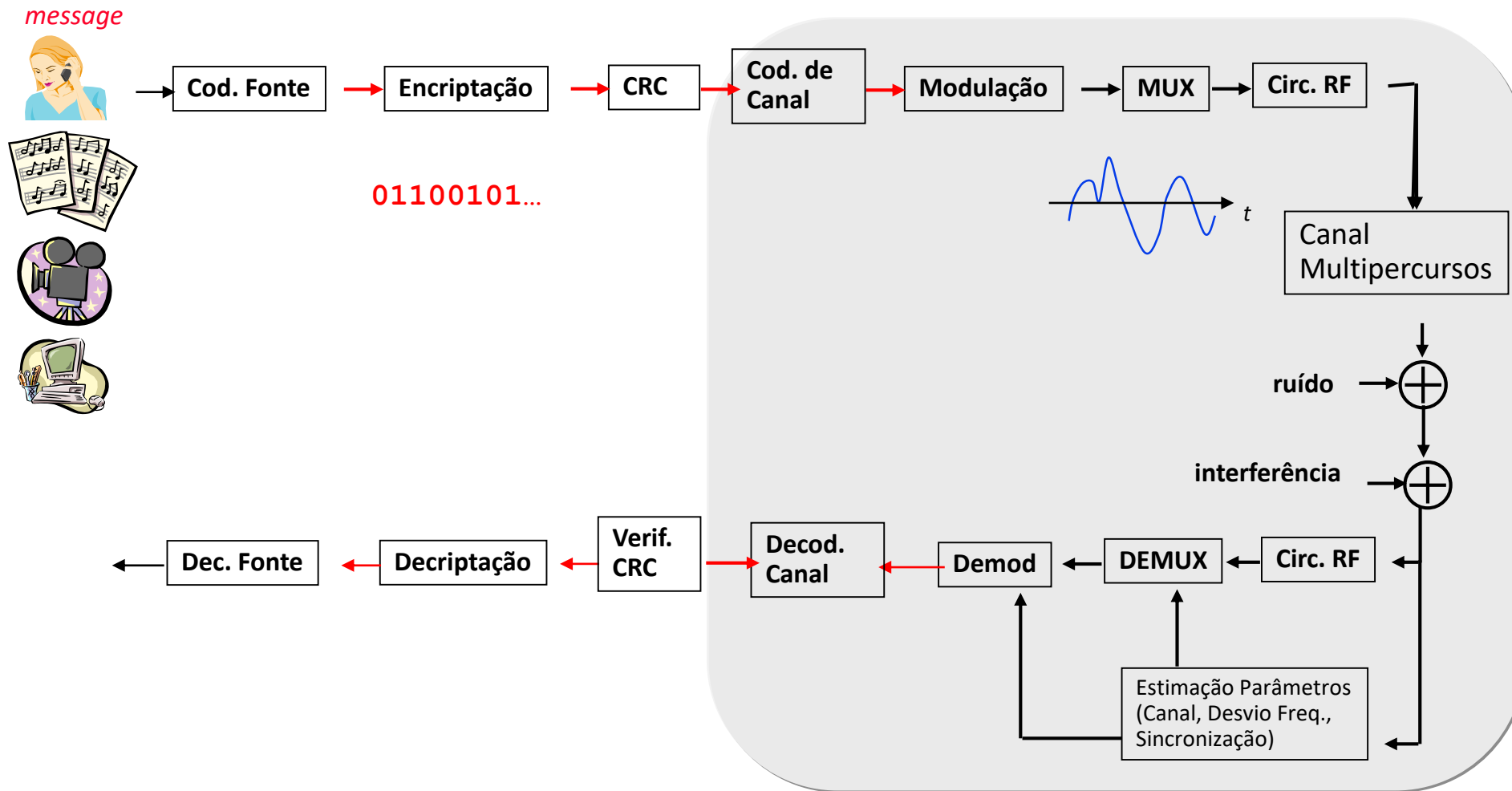


- \mathbf{x} e \mathbf{y} são vetores de informação contendo amostras de
 - Sinal puramente digital (seqüência de bits),
ou
 - Sinal analógico (seqüência de valores amostrados)
- Sistemas de comunicação modernos geralmente trabalham com quadros contendo seqüência de bits

Simulações de Enlace

Modelo de Transmissão Digital

Simulador de enlace



Simulação Sistemica

Introdução

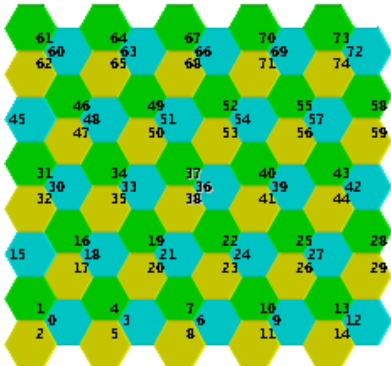
- Simulação de enlace:
 - Considera os efeitos do canal quando bits individuais são transmitidos em um enlace de comunicação;
 - Modela da cadeia completa de transmissão e recepção dos dados de informação, de forma a representar com maior exatidão possível todos os procedimentos da camada física para um enlace;
 - Resolução temporal: a nível de bit, símbolo ou chip
- Simulação sistêmica
 - Se baseia no número de estações rádio-base e terminais rádio-móvel para estimar fatores como nível de cobertura, capacidade e qualidade de serviço da rede celular modelada.
 - Resolução temporal: tempo de slot, quadro ou bloco, caracterizando uma quantidade de dados a ser transmitida (conjunto de bits ou símbolos)

Simulação Sistêmica

O simulador

Parâmetros de simulação

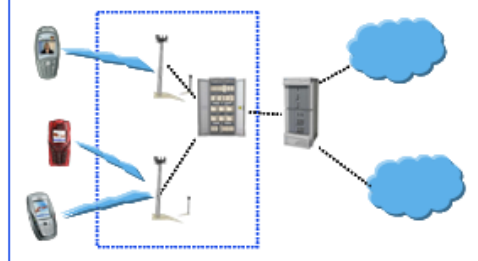
- Quantidade e posição das antenas
- Número de usuários
- Tipo de serviço (voz/dados)
- Demanda de tráfego
- Mobilidade
- Topologia do meio ambiente
- Configuração da rede
-



Software de Simulação

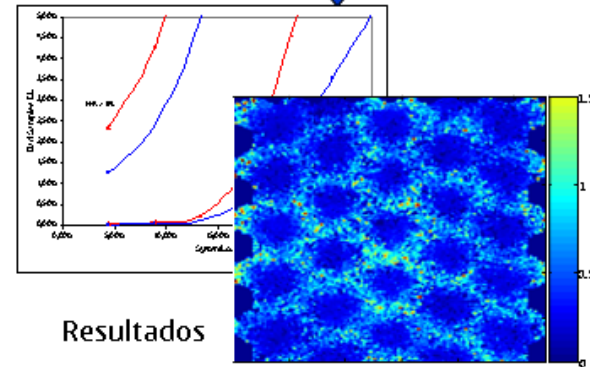
```
#include <string>
#include <unistd.h>
#include <iostream>
#include <sstream>

class SystemSimulator :
Simulator {
.....
}
.....
```



Estatísticas

- Número de chamadas completadas
- Taxa de queda de chamadas
- Qualidade de voz
- Throughput médio
- Taxa de perda de pacotes
- Taxa de satisfação dos usuário
- Ocupação da rede
-



Ferramenta de software que modela um sistema específico (ou vários)

Simulador Sistêmico

Tipos de Modelagem: quanto à mobilidade

Simulações Estáticas

Snapshots independentes (Monte Carlo)

Sem modelos de mobilidade

Desempenho avaliado através de vários estados (posições dos móveis) descorrelacionados

Algoritmos de RRM são modelados em seu comportamento médio

APLICABILIDADE

Avaliar a capacidade e cobertura

Provê resultados rápidos

Efeito da interferência entre células e entre frequências

Simulações Dinâmicas

Granularidade Temporal

Modelos de mobilidade

Tráfego gerado dinamicamente

Correlação entre eventos

APLICABILIDADE

Avaliação de desempenho de procedimentos sensíveis à mobilidade

Estratégias para mitigação de fenômenos variantes no tempo

KPIs mais realistas

Simulador Sistêmico

Tipos de Modelagem: quanto à mobilidade

Simulações semi-estáticas

Drops independentes

Não existe mobilidade explícita dos usuários, a cada drop um conjunto diferente de usuários é selecionado

Cada drop simula um número de frames (um tempo) correlacionados temporalmente

Dentro do drop um usuário tem a mesma perda de percurso e desvanecimento de larga escala (shadowing) independente da duração do drop

O desvanecimento de pequena escala muda a cada frame/slot seguindo uma correlação temporal (e.g. Modelo de Jakes)

Simulador Sistêmico

Tipos de Modelagem: quanto ao gerenciamento temporal

Simulações orientada a passo de Tempo

Passo de simulação fixo

A cada passo um série (avanço do relógio da simulação) de uma série de ações são realizadas

Simulações orientado a eventos

Não define um passo temporal fixo de simulação

Ações do simulador são chamados de eventos.
Exemplo de eventos: requisição de um conexão, termino de uma chamada, instante de atualização de métricas, etc.

Tempo restante para o próximo evento define o próximo passo de simulação

Cada evento tem um prazo de realização

Um escalonador controla a ordem que os eventos serão realizados

Um evento pode disparar ou escalonar outro evento

Dependendo da granularidade dos eventos: as duas classificações não diferem!

Simulador Sistêmico

Tipos de Modelagem: outras classificações

Quanto ao perfil dos interferentes

Simulação unicelular

Simulação multicelular (interferência intra- e inter-celular)

Quanto a estrutura celular e distribuição espacial de usuários

Simulação com estrutura celular homogênea

Simulação com estrutura celular hierárquicas (Macro e Micro células)

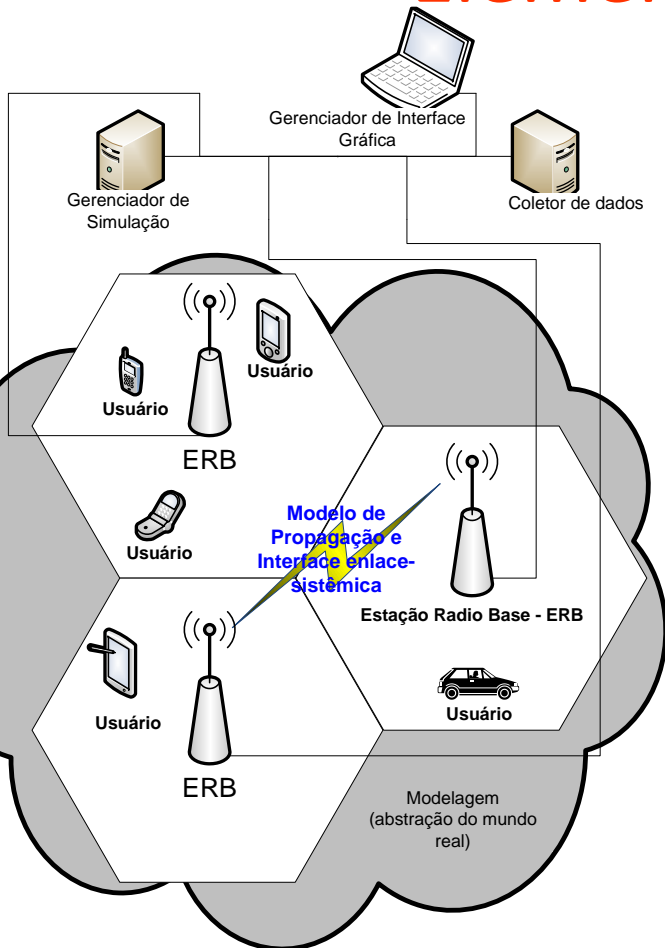
Quanto a distribuição espacial de usuários

Simulação com distribuição espacial homogênea

Simulação com distribuição espacial heterogênea (hot spot)

Simulador Sistêmico

Elementos



- Estações Rádio-Base
 - Aspectos das camadas PHY MAC; transmissão e recepção; uma parte dos algoritmos de gerência de recursos de rádio.
- Estações Móveis
 - Aspectos relacionados aos serviços oferecidos pela rede (geração de chamadas e tráfego) e a mobilidade; aspectos da PHY e MAC também são modelados nas estações
- Modelo de Propagação
 - Caracterização do canal rádio móvel: perda de percurso, desvanecimento de larga e pequena escalas.
- Coletor de Dados
 - Coleta e organização de dados que serão usados para caracterizar o desempenho do sistema;
- Gerenciador de Interface Gráfica
 - Permite ao usuário do simulador interagir com a simulação em progresso (configuração, entrada de dados, leitura de resultados, tratamento e análise dos dados obtidos nas simulações)
- Gerenciador do simulador
 - Responsável pela integração de todos os elementos do simulador.