

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Sistemas
Eletrônicos

ISSN 1517-3542

BT/PSI/0214

Posicionamento Automático de
Estações para Atendimento de
Usuários a Diversas Taxas

Fabio Leonel Orsi
Flávio Almeida M. Cipparrone

São Paulo – 2002

1298799

FICHA CATALOGRÁFICA

Orsi, Fabio Leonel

Posicionamento automático de estações para atendimento de usuários a diversas taxas / F.L. Orsi, F.A.M. Cipparrone. – São Paulo : EPUSP, 2002.

11 p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos, BT/PSI/0214)

1. Telefonia celular [Otimização] 2. Custo econômico I. Cipparrone, Flávio Almeida de Magalhães II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos III. Título IV. Série
ISSN 1517-3542

CDU 621.38456
338.06

Posicionamento Automático de Estações para Atendimento de Usuários a Diversas Taxas

Fabio Leonel Orsi

Flávio A. M. Cipparrone

Abstract

This work presents a method of mobile network planning based on the optimization of base station positioning. The objective is to maximize the offered service to the customers with various data rates and minimize the cost of the system, while keeping a balanced loading among the base stations. For this purpose customers are created within interest areas according to traffic density. The problem is solved using simulated annealing.

Resumo

Este trabalho apresenta um método de planejamento de redes de sistemas móveis baseado na otimização do posicionamento de estações base com o objetivo de maximizar o atendimento de assinantes a diversas taxas e minimizar o custo do sistema, procurando manter o carregamento balanceado entre as estações. Para este propósito são criados assinantes nas áreas de interesse de acordo com a densidade prevista de tráfego. O problema é então resolvido usando simulated annealing.

1 Introdução

O planejamento celular ocupa uma posição importante no trabalho diário das operadoras. Quando os requisitos de demanda são especificados nos business plans, a função de planejamento celular tem o objetivo de atender os requisitos de qualidade de serviço, capacidade e cobertura para cada serviço com o menor custo possível. A maioria das redes de segunda geração oferecia apenas serviços de voz. Já nos sistemas de terceira geração, há diversos serviços de voz e dados a diversas taxas e com características diferentes. Assim, a busca pelo ponto ótimo satisfazendo as necessidades de qualidade, capacidade e cobertura para todos os tipos de serviços oferecidos se torna cada vez mais complexa e o auxílio de ferramentas que automatizem cada processo do planejamento, aliado ao capital humano por trás dos recursos tecnológicos, pode fazer a diferença no sucesso ou fracasso de cada operadora.

Ferramentas que cubram eficientemente todos os aspectos do planejamento de redes sem fio tendem a se tornar mais escassas e a facilidade de integração tende a se tornar um fator importante, seja na distribuição de pacotes de software ou na facilidade de troca de dados entre diversas aplicações. Neste trabalho será abordada apenas a etapa inicial de planejamento que é a definição do número e posicionamento de cada estação.

2 Métodos de resolução

Com o crescente aumento na complexidade do planejamento de sistemas móveis celulares alguns algoritmos de posicionamento automático de estações foram investigados.

2.1 Cobertura de Grupo

Quando se considera um grupo relativamente pequeno de locais potenciais para a instalação das estações pode-se resolver o problema usando um modelo de cobertura de grupo (Set Covering Problem) uma das maneiras de se formular o problema pode ser [1]:

$$\min Z = \sum_{j \in J} x_j \quad (1)$$

restrições:

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq 1 \quad \forall j \in J, \forall i \in I \quad (2)$$

onde

Z número de estações;

J conjunto de prováveis estações;

I conjunto de pontos de demanda;

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{se estação em } j \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

N_i $\{j | f_{ij} \leq \max PL\}$ perda de propagação entre estações j e pontos de demanda i sempre menor que o máximo permitido (raio da célula);

f_{ij} perda de propagação entre o ponto de demanda i e a provável estação j

A solução válida para o problema deve ter cada ponto de demanda atendido por pelo menos uma estação, conforme Eq.2. A formulação do problema assume que as prováveis localizações das estações devem coincidir com os pontos de demanda, o que não é necessariamente válido. A solução ótima deve priorizar pontos em que os custos de aquisição da propriedade são menores.

2.2 MCLP (Maximal Covering Location Problem)

A solução do problema usando o método de cobertura de grupo requer o atendimento de todos os pontos de demanda, independentemente do custo envolvido. É razoável supor que a solução ótima está no equilíbrio entre custo e cobertura. Assim, modificando o problema para aceitar soluções que não cubram todos os pontos de demanda, recaímos na classe de problemas denominados MCLP (Maximal Covering Location Problem), ou problema de localização de máxima cobertura [2], seguindo a formulação de [1].

$$\max Z = \sum_{i \in I} a_i y_i \quad (3)$$

restrições:

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad \forall j \in J \quad (5)$$

onde

Z cobertura ponderada;

p número de estações;

J conjunto de prováveis estações;

I conjunto de pontos de demanda;

$y_i = \begin{cases} 1 & \text{se ponto de demanda } i \text{ está coberto} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$

$N_i = \{j | f_{ij} \leq \max PL\}$ perda de propagação entre estações j e pontos de demanda i sempre menor que o máximo permitido (raio da célula);

a_i população no ponto de demanda i (fator de proporção)

A restrição 1 (Eq.4) limita o atendimento de cada ponto de demanda a uma perda de propagação máxima $\max PL$, limitando a cobertura de cada estação, e a restrição 2 (Eq.5) força o número de estações a ser igual a p . O fator de proporção escolhido foi a população em cada ponto de demanda. Com isso, pontos mais populosos terão prioridade de atendimento sobre pontos menos habitados.

2.3 Outros Métodos

Diversas abordagens são possíveis para o problema que se resume a uma otimização combinatória de grande escala, dependendo apenas do número de aspectos que serão considerados no modelo, como o uso de informações geográficas, na escala do problema, na função objetivo escolhida ou em função da localização de estações em ambientes indoor, por exemplo.

Algumas abordagens usam a formulação do problema como programação inteira e resolvem usando tabu search para localização de novas estações [6]. Também podem ser encontradas abordagens usando algoritmos genéticos [7], ou a utilização de métodos heurísticos para simplificar a resolução [1].

3 Método Proposto

Apesar da possibilidade de uso dos métodos tradicionais de programação inteira, a incorporação da possibilidade de uso de dados geográficos na solução, como o uso de informação de relevo e de morfologia do terreno, aumenta bastante a complexidade do problema.

3.1 Algoritmo de Metropolis

O método de simulated annealing se baseia na analogia termodinâmica, mais especificamente no modo como líquidos se resfriam e congelam ou metais resfriam e se solidificam [3]. A altas temperaturas as moléculas se movem mais livremente em relação umas as outras. À medida em que o material se resfria, a mobilidade vai se perdendo e os átomos vão se ordenando num estado de energia mínima do sistema. A essência do processo é o resfriamento lento e gradual, permitindo uma melhor distribuição dos átomos na medida em que perdem mobilidade. Metropolis foi quem primeiro incorporou o conceito em 1953 [4].

Partindo-se de uma configuração de energia E_1 , o sistema passa para uma configuração de energia E_2 com probabilidade $p = \exp[-(E_2 - E_1)/kT]$ (distribuição de probabilidade de Boltzmann). Com k sendo a constante de Boltzmann e T a temperatura do sistema. Este algoritmo que permite que o sistema caminhe para uma solução pior, de maior energia ($E_2 > E_1$) com uma certa probabilidade enquanto sempre caminha para soluções melhores ficou conhecido com algoritmo de Metropolis. Esta característica tende a evitar que o sistema fique preso em soluções de ótimo local.

3.2 Função Objetivo

A função objetivo do sistema é o análogo a energia, e foi definida como:

$$\min Z = 10000N + \sum_{j=1}^J \sigma_j + \sum_{j=1}^J c_j \quad (6)$$

onde:

N porcentagem de chamadas bloqueadas pelo sistema (pontos não atendidos);

σ_j variância do número de chamadas trafegadas pela estação j ;

c_j fator de proporção de custo de instalação da estação j ;

J número de estações;

Na realidade, são três variáveis no processo de minimização. O objetivo é o de minimizar o proporção de chamadas que não podem ser atendidas pelo sistema (N), mantendo uma distribuição mais uniforme possível das chamadas trafegadas entre as estações e mantendo o custo em níveis aceitáveis. Foi dado um peso maior para a porcentagem de chamadas bloqueadas por ser dimensionalmente menor que as outras variáveis e por ser considerada mais importante a sua minimização.

3.3 Chamadas Trafegadas

Partindo-se de um mapa de demanda, que tem a informação da probabilidade de chamadas em determinada região, geralmente na unidade de chamadas por km^2 podem ser distribuídos assinantes em cada região, de acordo com uma função de densidade de probabilidade.

Uma chamada foi considerada aceita quando a distância entre o ponto de demanda distribuído (assinante) e a estação mais próxima fosse menor que um certo raio de célula e houvesse visada direta entre o ponto e a estação. Nada impede que o raio

máximo seja diferente para cada tipo de serviço, de acordo com o tipo do assinante. Não foi limitado o número máximo de canais por estação pois, mesmo que a solução ótima para uma dada configuração exceda o número máximo de canais, pode existir a possibilidade de serem adicionadas novas portadoras e essa característica não foi considerada no modelo deste trabalho.

A Figura 1 mostra um exemplo de cálculo das variáveis da função objetivo. Dos 5 assinantes representados, os assinantes 1 e 2 são atendidos pela estação 1, pois tem visada direta e a distância é menor para a estação 1 do que para a estação 2. Analogamente, os assinantes 4, 5 e 6 se conectam a estação 2. Já o assinante 3 não tem visada direta para a estação 1 e a distância para a estação 2 é maior que o raio máximo permitido, com isso ele é considerado como uma chamada bloqueada pelo sistema. Assim, pode-se calcular o valor de N . Com a informação do número de assinantes conectados às estações 1 e 2, pode-se calcular a variância deste conjunto de valores (σ).

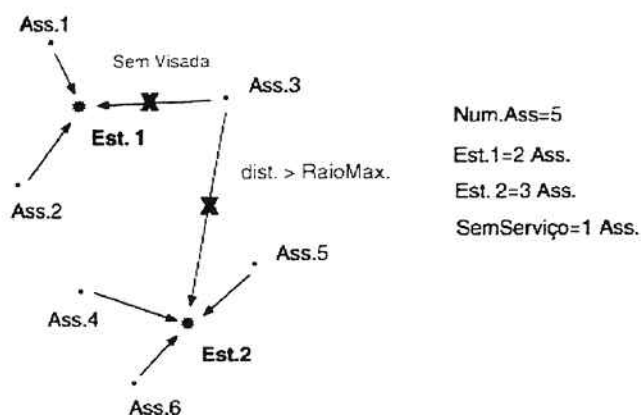


Figura 1: Exemplo de cálculo de variáveis da função objetivo

Um fator importante na performance do sistema foi o algoritmo usado no cálculo de visada direta, pois é a etapa mais intensiva computacionalmente do cálculo da função custo. No exemplo deste trabalho foi usada interpolação linear das coordenadas entre o assinante e a estação. Para casos onde for necessária a análise de áreas mais extensas, existem algoritmos para cálculo de visada que apresentam melhor performance computacional [5].

Para cada estação, de acordo com sua localização foi usado um custo ponderado, de acordo com um mapa de custo. Com isso a busca de estações torna-se mais realista na medida em que soluções inviáveis podem ter custos atribuídos mais elevados, ou seja, a escolha de um ponto para instalação de estação no meio de uma floresta, por exemplo, pode ter um custo atribuído mais alto que o custo de instalação na cidade. O custo em regiões de rios e lagos ou em áreas próximas a aeroportos podem ter um peso proibitivamente alto, já que em áreas de aproximação não é permitida a instalação de torres ou, em pontos onde já existe infra-estrutura pode ser dado um peso menor, priorizando a sua escolha.

4 Resultados

O algoritmo foi usado para achar a melhor configuração de estações numa área de 12.5 x 12.5 km do estado de São Paulo. Foram usados dados de altura e morfologia do terreno, conforme Figura 4. O mapa de morfologia foi criado em função da foto aérea, com o intuito de classificar regiões da cidade em função da densidade de tráfego prevista e do custo de aquisição de terrenos. Os dados foram dispostos em duas matrizes, H e M , respectivamente. O valor de H_{ij} corresponde a altitude do ponto de coordenadas (i, j) e o valor de M_{ij} define a categoria do terreno em (i, j) .

Categoria	Fator de Custo	Tráfego (cham./km ²)	
		Voz (1ch)	Dados (8ch)
Área I	3	7	3
Área II	2	2	1
Área III	1	1	0
Área IV	2	3	0
Aeroporto	1000	5	0
Arvores	30	0	0
Água	1000	0	0
Floresta	30	0	0
Pastagem	1	0	0
Plantação	2	0	0

Tabela 1: Distribuição de tráfego e proporção de custo para as regiões consideradas.

A Tabela 1 apresenta a proporção do custo considerado em cada categoria e a distribuição de tráfego em chamadas simultâneas por km² para serviços de voz e dados. Para o serviço de voz cada chamada trafegada requer a alocação de 1 canal e para cada chamada de dados foi usado um modelo simples onde cada chamada usa 8 canais.

Para cada estação foi considerado um raio máximo de atendimento para cada tipo de serviço. O raio usado para chamadas de voz foi de 6 km, enquanto que para o serviço de dados foi usado 3 km. Para o cálculo de visada direta foi considerada uma altura de 30m para a torre da estação e uma altura de 1.5m para o usuário.

A distribuição de tráfego foi feita em cada área de acordo com uma distribuição Poisson com média conforme a Tabela 1.

Partindo-se da distribuição dos assinantes da Figura 4, e de uma configuração inicial de 4 estações posicionadas aleatoriamente e conforme indicado na Tabela 2, chegou-se ao resultado da Tabela 3, com uma distribuição praticamente igual de assinantes por estação. Esta configuração final das estações pode ser vista na Figura 4, onde também se pode destacar a coerência do posicionamento das estações em locais relativamente altos do terreno em análise.

Na Figura 4, a cor de cada ponto da área de interesse representa a estação para onde há visada direta e a distância entre o ponto e a estação é mínima, ou seja, a cor de cada ponto representa a estação melhor servidora. Pode-se ver que após a otimização houve um melhor equilíbrio nas áreas de serviço de cada estação.

Estação	Assinantes Atendidos	Região	Custo
1	25	Área III	1
2	2	Pastagem	1
3	45	Área III	1
4	11	Plantação	2
Total	83		5

Tabela 2: Configuração inicial para 4 estações (atendimento de 83 dos 115 assinantes distribuídos).

Estação	Assinantes Atendidos	Região	Custo
1	29	Área III	1
2	29	Área III	1
3	29	Área III	1
4	28	Área III	1
Total	115		4

Tabela 3: Configuração otimizada para 4 estações (atendimento de todos os 115 assinantes distribuídos).

5 Conclusão

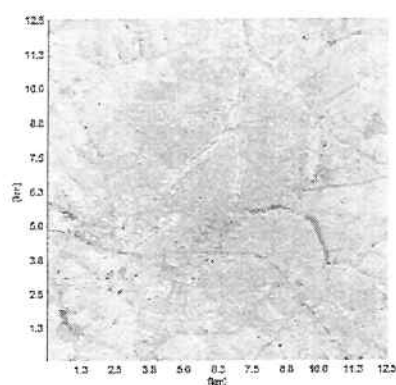
O processo de posicionamento automático de estações torna-se viável para aplicações em redes de grande escala com o aumento da capacidade de processamento dos computadores. Com a complexidade da evolução dos sistemas sem fio, os algoritmos de posicionamento permitem que se planeje redes com diversos objetivos, seja a melhor utilização da infra-estrutura de uma rede já existente para instalação de novos serviços, seja a adição de novas estações em redes existentes ou o planejamento de novas redes.

O mesmo algoritmo se aplica sem maiores alterações ao projeto de redes sem fio de outras tecnologias como LMDS ou qualquer outro serviço ponto-multiponto. A mesma abordagem pode ser usada para a otimização de parâmetros de estações já existentes, como altura, azimutes, tilts e potências com o intuito de melhorar áreas com alto índice de interferência, por exemplo.

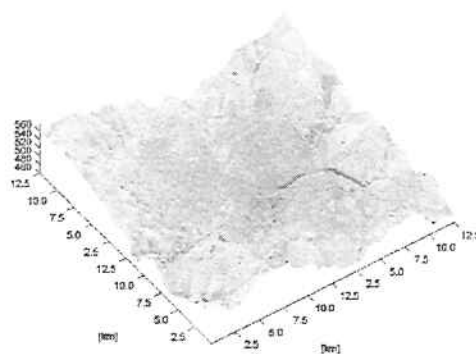
Referências

- [1] K. Tutschku, *Demand-based Radio Network Planning of Cellular Mobile Communications Systems*, Proc. IEEE Infocom'98, pp. 1054-1061, 1998.
- [2] R. L. Church and C. ReVelle *The Maximal Covering Location Problem*, Regional Science 30, pp. 10-118, 1974.
- [3] W. H. Press et. al., *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Programming*, 2nd Ed., Cambridge Press.

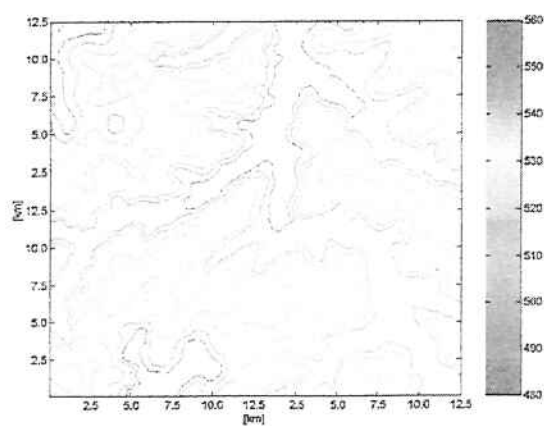
- [4] N. Metropolis, A. Rosenbluth, M. Rosenbluth, A. Teller and E. Teller, *Journal of Chemical Physics*, vol. 21, pp. 1087-1092, 1953.
- [5] Wm R. Franklin and C. K. Ray, *Higher isn't Necessarily Better: Visibility Algorithms and Experiments*, U.S. Military Academy, West Point, NY, 1994.
- [6] C. Y. Lee and H. G. Kang, *Cell Planning with Capacity Expansion in Mobile Communications: A Tabu Search Approach*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 49, n.5, pp. 1678-1691, 2000.
- [7] X. Huang, *Automatic Cell Planning for Mobile Network Design: Optimization Models and Algorithms*, Ph.D. Thesis, University of Karlsruhe, Germany, 2001.



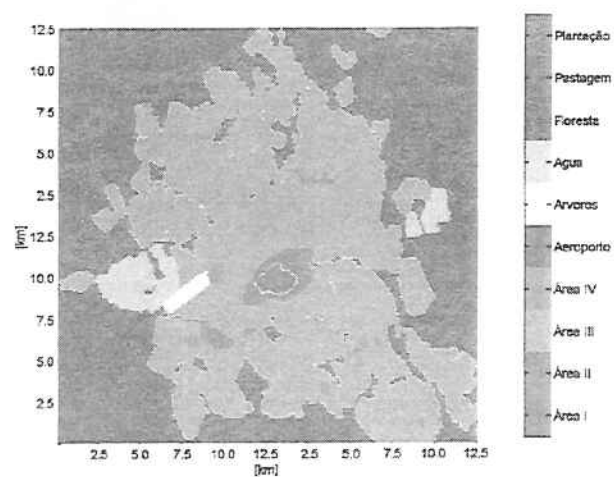
(a) Foto Aérea



(b) Relevo (3D)



(c) Relevo (curvas de nível)



(d) Morfologia

Figura 2: Dados da área analisada

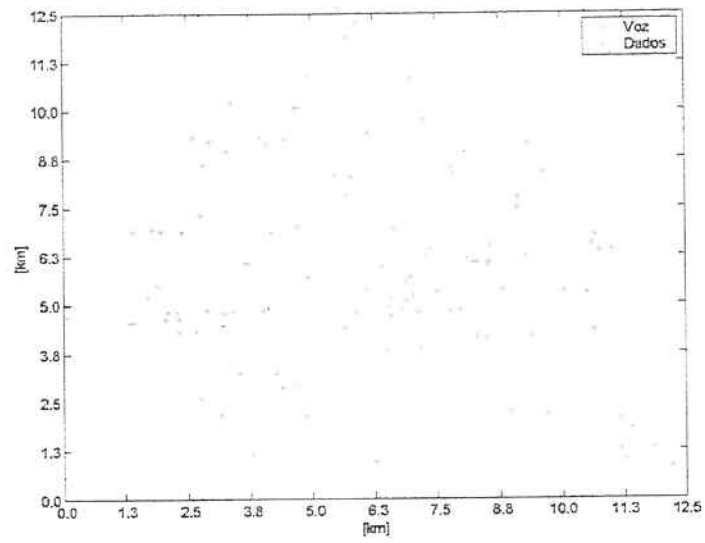


Figura 3: Distribuição de assinantes

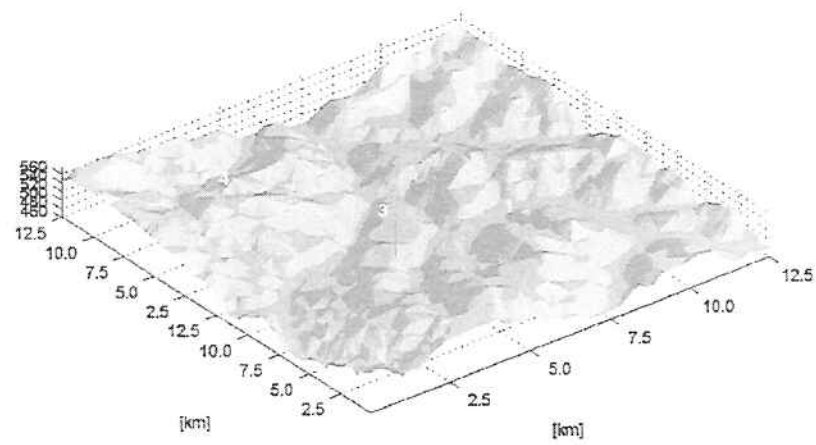
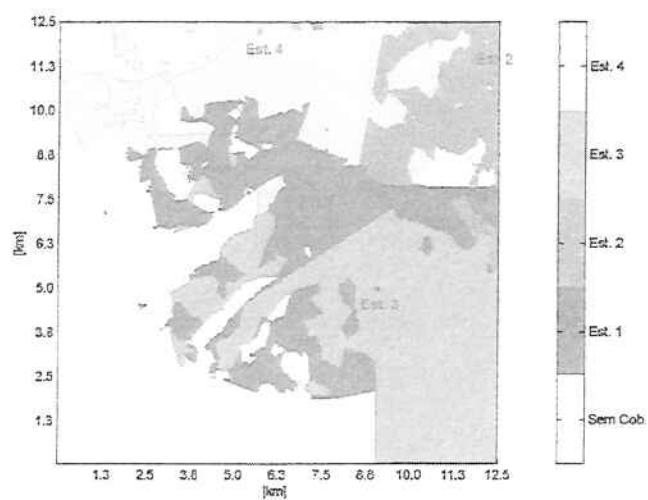
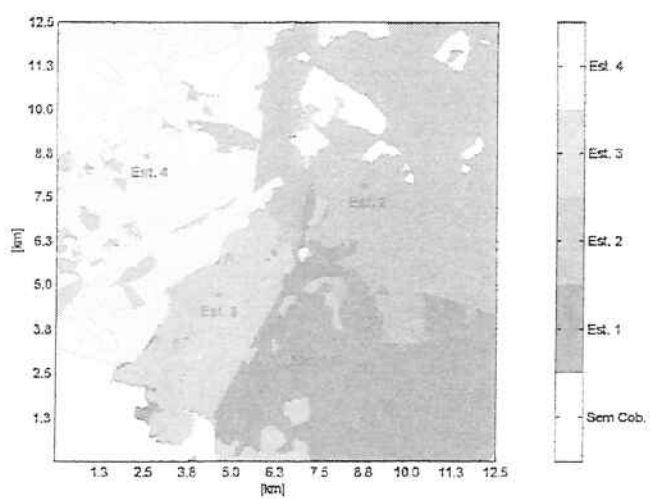


Figura 4: Posicionamento final das estações.



(a) Configuração inicial



(b) Configuração otimizada

Figura 5: Mapas de melhor servidor.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PSI/0001 – Observabilidade Topológica de Osawa em Redes não Lineares – ARMANDO HANDAYA, FLÁVIO A. M. CIPPARRONE
- BT/PSI/0002 – Desenvolvimento de uma Microbalança de Quartzo para Detectar Gases – ROBERTO CHURA CHAMBI, FRANCISCO JAVIER RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PSI/0003 – Sistema para Desenvolvimento de Sensores Inteligentes – ANTONIO CARLOS GASPARETTI, FRANCISCO JAVIER RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PSI/0004 – A 1.6GHz Dual Modulus Prescaler Using the Extended True Single-Phase Clock CMOS Circuit Technique (E-TSPC) – JOÃO NAVARRO SOARES JÚNIOR, WILHELMUS ADRIANUS M. VAN NOIJE
- BT/PSI/0005 – Modelamento em Linguagem VHDL de uma Unidade de Policiamento para Redes Locais ATM – ÉDSON TAKESHI NAKAMURA, MARIUS STRUM
- BT/PSI/0006 – Otimização das Operações Coletivas para um Aglomerado de 8 Computadores usando uma Rede Ethernet 10 Mbps baseada em Hub – MARTHA TORRES, SERGIO TAKEO KOFUJI
- BT/PSI/0007 – Short Temporal Coherence Optical Source With External Fiber Optics Cavity – CARMEM LÚCIA BARBOSA, JOSÉ KEBLER DA CUNHA PINTO
- BT/PSI/0008 – Hydrogenated Carbon Films Used as Mask in Wafer Processing With Integrated Circuits: Post-Processing – JUAN M. JARAMILLO O., RONALDO D. MANSANO, EDGAR CHARRY R.
- BT/PSI/0009 – Redes Neurais em VLS – ANTONIO RAMIREZ HIDALGO, FRANCISCO JAVIER RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PSI/0010 – Caracterização de Filmes Obtidos a Partir da Deposição por Plasma de Hexametildissilazana – SANDRINO NOGUEIRA, MARIA LÚCIA PEREIRA DA SILVA
- BT/PSI/0011 – InterFace: A Real Time Facial Animation System – JOSÉ DANIEL RAMOS WEY, MARCELO KNORICH ZUFFO
- BT/PSI/0012 – Análise de Desempenho Dinâmico de Sistemas de Transmissão em Corrente Contínua Multiterminais Série Utilizando GTO – MARIA APARECIDA DOS SANTOS, WALDIR PÓ
- BT/PSI/0013 – Estudo de Dispositivos Miniaturizados para Controle do Escoamento de Fluidos – ELIPHAS WAGNER SIMÕES, ROGÉRIO FURLAN
- BT/PSI/0014 – Projeto de um Sistema de Sinalização de Tronco E1: Um Estudo de Caso usando o Ambiente Ptolemy – OSCAR W. PEÑA GUILARTE, MARIUS STRUM
- BT/PSI/0015 – Obtenção de Filmes de Nitreto de Silício por Deposição Química Assistida por Plasma Acoplado Indutivamente – LUÍS DE S. ZAMBOM, ROGÉRIO FURLAN, RONALDO D. MANSANO
- BT/PSI/0016 – Obtenção de Oxinitretos de Porta por Processamento Térmico Rápido Visando a Fabricação de Circuitos Integrados MOS – LEANDRO ZEIDAN TOQUETTI, SEBASTIÃO G. SANTOS FILHO
- BT/PSI/0017 – Characterization of Silicon Oxide Thin Films Deposited by TEOS PECVD – ANA NEILDE R. DA SILVA, NILTON I. MORIMOTO
- BT/PSI/0018 – Estudo e Caracterização de Filmes Sapos para a Passivação de Dispositivos de Potência – EDUARDO DOS SANTOS FERREIRA, NILTON ITIRO MORIMOTO
- BT/PSI/0019 – Simulação, Funcional e Elétrica, de Diodos Controlados por Porta Visando Demonstrar a sua Aplicabilidade como Sensor de Radiação Luminosa – HUGO PUERTAS DE ARAÚJO, SEBASTIÃO GOMES DOS SANTOS FILHO
- BT/PSI/0020 – Graded-Channel Fully-Depleted Silicon-on-Insulator Nmosfet for Reducing the Parasitic Bipolar Effects – MARCELO ANTONIO PAVANELLO, JOÃO ANTONIO MARTINO, DENIS FLANDRE
- BT/PSI/0021 – FFT para Detecção de Aromas – G. C. SANTOS QUISPE, F. J. RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PSI/0201 – Estudo para Aplicação de Litografia por Feixe de Elétrons na Fabricação de Estruturas de Relevo Contínuo para Utilização em Microóptica Integrada – HAMILTON FERNANDES DE MORAES JÚNIOR, ANTONIO CARLOS SEABRA
- BT/PSI/0202 – Sistemas de Adaptação ao Locutor Utilizando Autovozes – LISELENE DE ABREU BORGES, MIGUEL ARJONA RAMÍREZ
- BT/PSI/0203 – A Wideband Down-Converter MMIC with Gain Control for Digital Radio Systems – D. VIVEIROS JR., M. B. PEROTONI, M. A. LUQUEZE, D. CONSONNI, J. G. C. POLOTO
- BT/PSI/0204 – Highly Conductive N-Type μ C-Si:H Films Deposited at Very Low Temperature – ALEXANDRE MANTOVANI NARDES, ELY ANTONIO TADEU DIRANI
- BT/PSI/0205 – Effect of Stencil Alignment on the Solder Beading in SMT Process – FLÁVIO SOUSA SILVA, MAURÍCIO MASSAZUMI OKA
- BT/PSI/0206 – Sistema de Reconhecimento de Voz Dependente de Locutor Utilizando-se a Transformada Discreta Cosseno – WASHINGTON LUIS SANTOS SILVA, IVANDRO SANCHES
- BT/PSI/0207 – Construção e Caracterização de Diodos N⁺ P com Contatos Al/Ni/TiSi₂ – RONALDO WILLIAN REIS, SEBASTIÃO GOMES DOS SANTOS FILHO

- BT/PSI/0208 – Diagnóstico de Falhas em Equipamentos Usando Técnicas de Redes Neurais Artificiais – MARIANA A. AGUIAR, ZSOLT L. KOVÁCS
- BT/PSI/0209 – Analysis of the Leakage Drain Current Carriers in SOI MOSFETs Operating at High-Temperatures – MARCELLO BELLODI, JOÃO ANTONIO MARTINO
- BT/PSI/0210 – A New Technique to Extract the Oxide Charge Density at Front and Back Interfaces of SOI nMOSFETs Devices – APARECIDO SIRLEY NICOLETT, JOÃO ANTONIO MARTINO
- BT/PSI/0211 – A New Methods for Determining the Silicon Film Doping Concentration and the Back Interface Oxide Charge Density Using SOI-MOS Capacitor – VICTOR SONNENBERG, JOÃO ANTONIO MARTINO
- BT/PSI/0212 – Produção de Novos Filmes para Detecção de Poluentes – ANTONIO PEREIRA DO NASCIMENTO FILHO, MARIA LÚCIA PEREIRA DA SILVA
- BT/PSI/0213 – Composição de Baixo Custo para Refeições Populares – GUSTAVO FELIPE PAOLILLO, FLÁVIO ALMEIDA M. CIPPARRONE