

PYBAND: UM APLICATIVO MULTI-PLATAFORMA PARA A COORDENAÇÃO DE VIAS ARTERIAIS SEMAFORIZADAS

Rodrigo Castelan Carlson

Carolina Ensfield Lueders

Luciano Dionísio Dantas

Universidade Federal de Santa Catarina

Departamento de Automação e Sistemas

RESUMO

Apresenta-se um aplicativo gratuito e multi-plataforma para a coordenação de vias arteriais semaforizadas, chamado PYBAND. O método de coordenação utilizado é o de maximização da largura de banda de verde proposto por Morgan e Little. As características de PYBAND o tornam interessante para utilização por instituições brasileiras responsáveis pela operação de semáforos.

ABSTRACT

A free of charge and multi-platform application for signal coordination in signalized arterials called PYBAND is presented. Morgan and Little's bandwidth maximization method for signal coordination is used. Due to its characteristics, PYBAND is an interesting application for use by Brazilian institutions in charge of traffic lights operation.

1. INTRODUÇÃO

A semaforização de interseções em malhas viárias urbanas é indispensável como ferramenta para o gerenciamento de conflitos, segurança e fluidez do tráfego. Frequentemente deseja-se realizar a coordenação entre interseções adjacentes, uma vez que com a coordenação apropriada dos semáforos é possível minimizar o número de paradas e o atraso veicular. Isto é desejável, pois paradas sucessivas em vias arteriais, além de prejudicarem a fluidez do tráfego, são irritantes e desconfortáveis para os motoristas (Morgan e Little, 1964).

Três grupos de métodos para coordenação de sistemas a tempos fixos podem ser levantados. No primeiro, o foco está na coordenação das indicações semaforicas sem considerar explicitamente os fenômenos de tráfego, como nos métodos de Morgan e Little (1964) e de Little (1966) e nos programas MAXBAND (Little *et al.*, 1981) e MULTIBAND (Gartner *et al.*, 1990). O segundo grupo de métodos de coordenação usa modelos de tráfego e algoritmos para coordenar os semáforos através da otimização de critérios como número de paradas e atraso veicular, por exemplo, o programa TRANSYT/10 (Crabtree *et al.*, 1996). O terceiro grupo é uma combinação dos dois primeiros grupos, em que métodos de ambos são utilizados simultaneamente ou sequencialmente para a obtenção de coordenação semaforica. Neste grupo se enquadra, por exemplo, o trabalho de Cohen (1982), que utiliza sequencialmente as ferramentas MAXBAND e TRANSYT.

No cenário brasileiro, como apontado por Dutra e Demarchi (2004b), o uso destas ferramentas pelas instituições responsáveis pela operação de semáforos é deficiente. Na maioria das capitais brasileiras o programa TRANSYT já foi utilizado, mas atualizações dos planos não acontecem por falta de novas contagens veiculares e são mantidos por métodos de tentativa e erro. Em cidades brasileiras de médio porte (frota de veículos maior que 30000) a situação é ainda pior. Na maioria destas cidades falta pessoal capacitado e aplicativos acessíveis para o cálculo da coordenação. Como um método alternativo para o cálculo da coordenação semaforica os autores sugeriram o aplicativo SBAND (Dutra e Demarchi, 2004c).

SBAND (Dutra e Demarchi, 2004c) é um aplicativo para cálculo de coordenação semafórica por meio da maximização da largura de banda que utiliza uma adaptação do método de Morgan e Little (Dutra e Demarchi, 2004a). Foi implementado em planilha eletrônica do *Microsoft Excel* com o uso de fórmulas da própria planilha e de rotinas em *Visual Basic*, e assim, depende da utilização de um aplicativo de alto custo.

Dada a carência das cidades brasileiras por aplicativos de baixo custo e de fácil utilização, este trabalho apresenta o aplicativo PYBAND que utiliza o método de Morgan e Little para o cálculo da coordenação por meio da maximização da largura de banda. PYBAND foi implementado com o uso de ferramentas de programação livres, oferecendo como vantagens em relação ao SBAND a portabilidade (utilização do mesmo programa em diferentes sistemas operacionais, como *Microsoft Windows* e *GNU/Linux*) e a desvinculação do uso de um sistema de alto custo que é conjunto de aplicativos do *Microsoft Office*. Adicionalmente, em virtude da possibilidade de reutilização de código em sistemas orientados a objetos, PYBAND compõe um módulo de Central de Controle de Tráfego em Tempo Real que efetua maximização da largura de banda em tempo real (Carlson *et al.*, 2006).

A Seção 2 apresenta o método de Morgan e Little utilizado no aplicativo PYBAND. Detalhes do aplicativo são apresentados na Seção 3. Por fim, na Seção 4 são apresentadas as considerações finais.

2. O MÉTODO DE MORGAN E LITTLE

O método de Morgan e Little (1964) considera um procedimento para determinar defasagens para a obtenção de largura máxima para ambos os sentidos de uma via. Este método é apropriado para o problema apresentado na introdução deste trabalho, pois a maximização da largura de banda quando comparada com técnicas que otimizam critérios de tráfego, utiliza poucos dados de entrada. Obtém valores de defasagem que proporcionam as chamadas “ondas verdes” exigindo basicamente as velocidades e as distâncias entre interseções adjacentes, tempos de verde e tempo de ciclo. O método permite estipular velocidades de projeto diferentes entre sinais adjacentes, em ambas as direções, e ajustar a largura da banda com base em tamanho de pelotões.

O favorecimento da progressão de veículos por meio de ondas verdes obtidas por técnicas de maximização da largura de banda é de fácil e intuitiva assimilação por operadores e motoristas. Diagramas espaço tempo permitem fácil visualização do resultado (Little *et al.*, 1981). A maximização da largura de banda tende a reduzir o número de paradas e o atraso veicular (Little *et al.*, 1966).

2.1. Conceitos básicos

Considere uma via arterial com n interseções semaforizadas. Os sentidos na arterial são identificados por $i-j$ e $j-i$. As interseções são identificadas por S_1, S_2, \dots, S_n , com o índice crescendo no sentido $i-j$ como mostra a Figura 1.

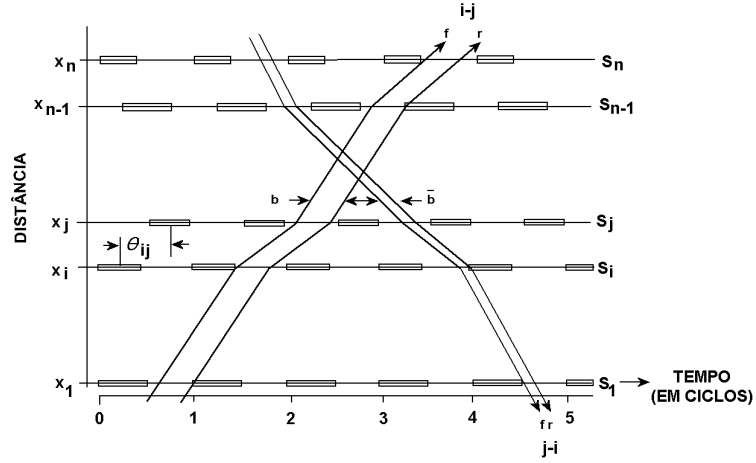


Figura 1: Diagrama espaço tempo para uma arterial (Morgan e Little, 1964).

Sejam:

C o tempo de ciclo das interseções [s];

r_i o tempo de vermelho na interseção S_i [ciclos];

$b(\bar{b})$ a largura de banda no sentido $i-j$ ($j-i$) [ciclos];

$t_{ij}(\bar{t}_{ij})$ o tempo de viagem de S_i para S_j no sentido $i-j$ ($j-i$) [ciclos];

θ_{ij} a defasagem relativa de S_i e S_j , medida como o tempo entre o centro de vermelho de S_i e o próximo centro de vermelho de S_j [ciclos]; por convenção $0 \leq \theta_{ij} \leq 1$;

x_i a posição de S_i na via [m];

$v_i(\bar{v}_i)$ a velocidade no sentido $i-j$ ($j-i$) entre S_i e S_{i+1} [m/s]; e

$\delta_{ij} \in \{0, \frac{1}{2}\}$.

Unidades de tempo podem ser expressas em ciclos dividindo-as por C . Assume-se que os tempos de viagem entre interseções adjacentes são conhecidos e constantes. Um conjunto θ_{ij} , $j = 1, \dots, n$ para todo i é chamado de conjunto de sincronização de sinais.

Uma interseção é chamada crítica se um lado do vermelho de S_j toca a banda de verde em um sentido e o outro lado toca a banda de verde no outro sentido. Interseções críticas limitam a largura da banda e são divididas em dois grupos. O Grupo 1 tem as interseções em que seu vermelho toca a frente da banda no sentido $i-j$ e a traseira da banda no sentido $j-i$. Interseções do Grupo 2 tocam as direções opostas. Uma interseção pode pertencer a ambos os grupos. Na Figura 1, as interseções S_1 (Grupo 2) e S_i (Grupo 1) são críticas. A frente e a traseira da banda são identificadas por f e r respectivamente e mudanças de inclinação significam mudanças na velocidade de projeto.

Larguras máximas de banda são obtidas quando as defasagens estão em sincronização semi-inteira (*half-integer synchronization*), o que ocorre quando:

$$\theta_{ij} = \text{man} \left[\frac{1}{2} (t_{ij} + \bar{t}_{ij}) + \delta_{ij} \right] \quad (1)$$

onde $\text{man}(x) = x - \lfloor x \rfloor$. O significado operacional para o caso em que as velocidades são

iguais em ambos os sentidos, ou seja, $t_{ij} = -\bar{t}_{ij}$, e por consequência $\theta_{ij} = \delta_{ij} \in \{0, \frac{1}{2}\}$, é que as interseções terão seus centros de vermelho exatamente em fase ou defasados de meio ciclo.

2.2. Coordenação para larguras de bandas máximas e iguais

Por meio do desenvolvimento de teoremas Morgan e Little provam que basta examinar os casos de sincronização semi-inteira e apenas um sentido da via. A largura de banda máxima e igual é dada por $\max(0, B)$,

$$B = \max_i \min_j \max_{\delta \in \{0, \frac{1}{2}\}} [u_{ij}(\delta) - r_j] \quad (2)$$

onde B é o valor das larguras de banda e

$$u_{ij} = 1 - \min \left[-\theta_{ij} - \frac{r_j}{2} + \frac{r_i}{2} + t_{ij} \right] \quad (3)$$

é o tempo que a trajetória que toca o lado direito do vermelho de S_j passa em S_i , assumindo que o lado direito do vermelho de S_i como a origem das medidas. Um $i = c$ maximizador tem δ 's maximizadores correspondentes, $\delta_{c1}, \dots, \delta_{cn}$, que substituídos na Equação 1 fornece o conjunto de sincronização $\theta_{c1}, \dots, \theta_{cn}$ que resulta em larguras de banda máximas e iguais.

2.3. Coordenação para larguras de banda máximas e desiguais

Depois de calcular larguras de bandas máximas e iguais, as larguras de banda podem ser redistribuídas, se factível, entre os dois sentidos da via, tomando como base o tamanho do pelotão no sentido $i-j$ ($j-i$) $P(\bar{P})$. Quando o tamanho dos pelotões é maior do que a largura da banda em um sentido e não no outro, ou quando se deseja alocar largura de banda para filas residuais provenientes de vias secundárias, a banda pode ser deslocada para que ambos os pelotões passem desimpedidos.

3. O APLICATIVO PYBAND

O aplicativo PYBAND tem por finalidade o cálculo de defasagens em vias arteriais semaforizadas por meio da maximização da largura de banda, utilizando o método de Morgan e Little (1964). É um aplicativo gratuito, fácil de usar, intuitivo e que exige poucos dados de entrada.

3.1. Desenvolvimento

O aplicativo PYBAND foi desenvolvido utilizando ferramentas de programação livres que não acarretam em custos de licença de *software* ao desenvolvedor nem ao usuário: Python (2007), GTK (2007) e PyGTK (2007). Assim, PYBAND é um aplicativo gratuito que está disponível na internet (<http://www.das.ufsc.br/~rcarlson/pyband/>), com os códigos fontes incluídos. A disponibilidade do código fonte permite aos interessados continuarem desenvolvimento próprio a partir do já existente ou contribuir com a linha de desenvolvimento atual.

Python (2007) é uma linguagem de programação orientada a objetos que pode ser utilizada para diversos tipos de desenvolvimento de *software*. Oferece amplo suporte para integração com outras ferramentas e linguagens de programação e é de fácil aprendizado, além de propiciar desenvolvimentos de alta qualidade e permitir melhor manutenção e reusabilidade do código. GTK+ (2007) é um conjunto de ferramentas para a criação de interfaces gráficas. Facilmente integrável com diversas linguagens de programação, GTK+ foi utilizada com

Python a partir de PyGTK (2007) que faz a integração entre Python e GTK+. Todas estas ferramentas são multi-plataforma e podem ser utilizadas em diversos sistemas operacionais, como *Microsoft Windows* e *GNU/Linux*.

A critério do desenvolvedor, os aplicativos gerados com estas ferramentas também possuem a mesma facilidade de portabilidade. PYBAND é portátil e foi testado com sucesso nos sistemas operacionais *Windows XP/VISTA* e *Ubuntu Linux*.

3.2 Algoritmo

Little *et al.* (1966) desenvolveram dois programas chamado TSS3 e TSS4 implementados em LOAD e GO FORTRAN. O primeiro executava um algoritmo para a maximização da largura de banda pelo método de Morgan e Little (1964), e o segundo utilizava a saída do primeiro para gerar diagramas espaço-tempo.

PYBAND implementa em Python o método de Morgan e Little com o mesmo algoritmo utilizado no programa TSS3 e apresentado por Little *et al.* (1966). Os diagramas espaço-tempo são desenhados pelo próprio programa.

3.3 Entrada de dados

A entrada de dados para PYBAND é realizada por meio de uma interface gráfica, apresentada na parte esquerda da Figura 2, ou por meio de um arquivo texto (Figura 3) que pode ser aberto com o aplicativo. Os dados digitados na interface gráfica podem ser salvos em arquivo texto com o formato próprio do aplicativo (Figura 3). Os dados mostrados nas Figuras 2 e 3 correspondem à mesma malha viária.

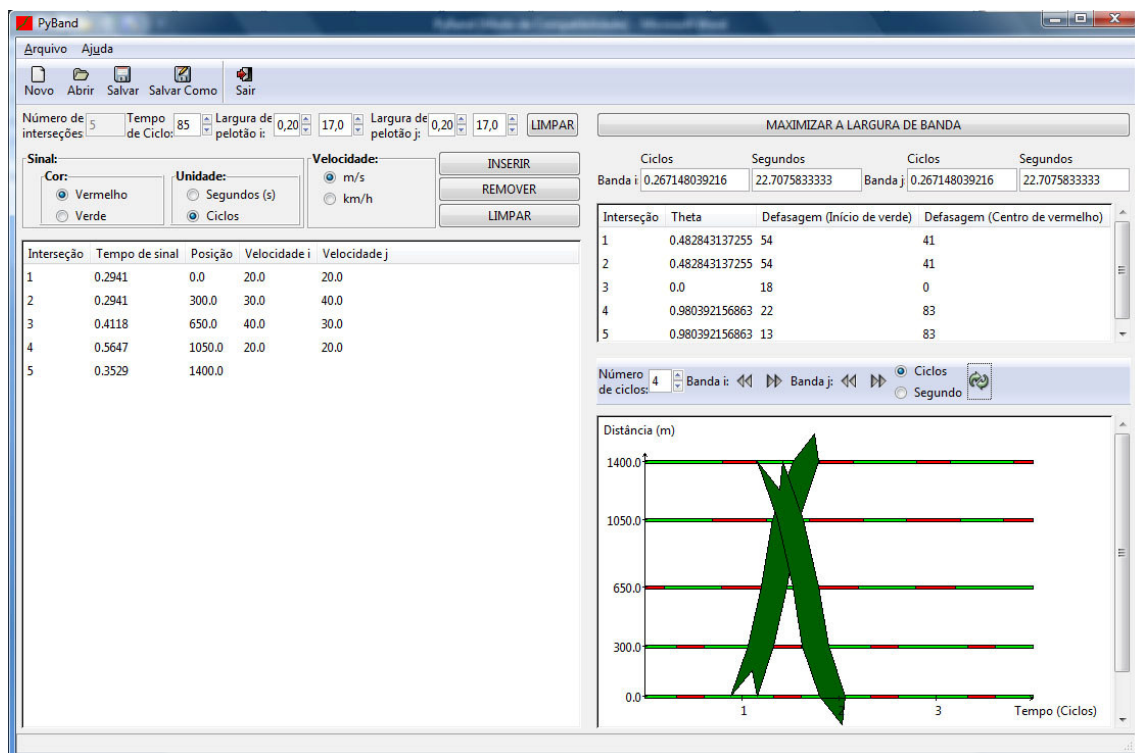


Figura 2: Interface gráfica do aplicativo PYBAND.

```

C C:\PyBand\src\Redel.ltt 25/06/07
C Número de interseções [n]
| 5
C Tempo de ciclo C (s)
| 85
C Largura de pelotão no sentido i P (ciclos)
| 0.2
C Largura de pelotão no sentido j P_ (ciclos)
| 0.2
C Tempos de vermelho r [n] (ciclos)
| 0.2941 0.2941 0.4118 0.5647 0.3529
C Posição das interseções x [n] (m)
| 0.0 300.0 650.0 1050.0 1400.0
C Velocidades no sentido i v [n-1] (m/s)
| 20.0 30.0 40.0 20.0
C Velocidades no sentido j v_ [n-1] (m/s)
| 20.0 40.0 30.0 20.0
E

```

Figura 3: Arquivo de entrada de dados do aplicativo PYBAND.

Os dados necessários são os mesmos do método de Morgan e Little apresentado na Seção 2 e do aplicativo SBAND. Estes dados podem ser obtidos a partir de observações de campo ou de bases de dados (Dutra e Demarchi, 2004c).

A entrada de dados pela interface de PYBAND é facilitada pela possibilidade de fornecer os dados em unidades variadas, como ciclos ou segundos, km/h ou m/s, e tempo de verde ou tempo de vermelho.

3.4 Saída de dados

A saída de dados é realizada na própria interface do programa (lado direito da Figura 2) clicando-se no botão “MAXIMIZAR LARGURA DE BANDA”. As saídas apresentadas são os *Thetas* também chamados de conjunto de sincronização, que correspondem ao centro de vermelho dado em ciclos, a defasagem de cada interseção entendida como o início do verde em relação a um ponto de referência comum (tempo zero do ciclo) e a defasagem de cada interseção entendida como o centro de vermelho em relação a um ponto de referência comum. As larguras de banda resultantes são apresentadas em ciclos e segundos.

Para cada operação de maximização da largura de banda, é gerado na própria interface um diagrama espaço-tempo do resultado obtido. O diagrama espaço-tempo pode ser redesenhado com um número configurável de ciclos, pode apresentar o eixo do “Tempo” em ciclos ou segundos, e permite deslocar as bandas para a direita ou esquerda a critério do usuário.

3.5. Limitações

Como acontece com SBAND (Dutra e Demarchi, 2004c), PYBAND não permite fazer um teste automático em determinadas faixas de valores de velocidades, ciclo, tempos de verde ou larguras de pelotões, mas este processo pode ser implementado no futuro.

O diagrama espaço-tempo ainda não permite edição (ajuste fino manual do resultado) pelo operador, portanto é necessário editar os parâmetros para obter um diagrama espaço-tempo diferente.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi apresentado um aplicativo para coordenação de vias arteriais semaforizadas de fácil utilização, chamado PYBAND. Utiliza o método de Morgan e Little para maximização da largura de banda para o cálculo de defasagens. Além de fornecer as defasagens, o aplicativo desenha um diagrama espaço-tempo para avaliação visual do resultado.

Para o desenvolvimento foram utilizadas ferramentas livres e de indiscutível aceitação pela comunidade desenvolvedora, que possibilitaram desenvolver PYBAND como um aplicativo gratuito multi-plataforma, testado com sucesso nos sistemas operacionais *Windows XP/VISTA* e *Ubuntu Linux*.

A interface gráfica pode ser aperfeiçoada para permitir edição dos diagramas espaço-tempo sem a necessidade de editar os parâmetros. Algoritmos automáticos para testes de combinação de parâmetros podem ser desenvolvidos, bem como a inserção também de parâmetros para outras metodologias como o método de Webster para o cálculo do tempo ótimo de ciclo.

Outros métodos, como o utilizado por MAXBAND e o utilizado por MULTIBAND, podem ser adotados no futuro para o cálculo das defasagens. Por se tratarem de modelos mais complexos o aplicativo *lp_solve* (2007) para resolução de programas lineares inteiros mistos poderia ser utilizado para obter a solução ótima, já que é livre e totalmente integrável com a linguagem Python.

PYBAND será integrado a uma Central de Controle de Tráfego em Tempo Real que permite optar por maximização da largura de banda como método para cálculo de defasagens em tempo real.

As características de PYBAND e a situação do cenário brasileiro, com falta de dados de campo e pessoal capacitado, o tornam apropriado para o uso por instituições brasileiras responsáveis pela operação de semáforos.

Agradecimentos

À Brascontrol Indústria e Comércio Ltda e ao Projeto SINCMOBIL II/CNPQ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carlson, R. C.; W. Kraus Junior e E. Camponogara (2006) Aplicação de Maximização de Largura de Banda no Controle de Tráfego Urbano em Tempo-Real. *Anais do XX Congresso da ANPET*, ANPET, Brasília.
- Cohen, S. L. (1982) Concurrent use of MAXBAND and TRANSYT signal timing programs for arterial signal optimization. *Transportation Research Record*, 906, p. 81-84.
- Crabtree, M. R.; R. A. Vincent e S. Harrison (1996) *Application Guide 28 – TRANSYT/10 User Guide*. Transport Research Laboratory, Crowthorne, UK.
- Dutra, C. B. e S. H. Demarchi (2004) Coordenação Semafórica Através do Método de Maximização da Banda de Verde. *Anais do XVIII Congresso da ANPET*, ANPET, Florianópolis, p. 503-514.
- Dutra, C. B. e S. H. Demarchi (2004) Métodos de Coordenação Semafórica: Estado da Arte Versus Estado da Prática em Cidades Brasileiras. *Anais do XVIII Congresso da ANPET*, ANPET, Florianópolis, p. 77-85.
- Dutra, C. B. e S. H. Demarchi (2004) SBAND: Implementação em Planilha Eletrônica de um Método para Maximização da Banda de Verde em Vias Semaforizadas. *Anais do XVIII Congresso da ANPET*, ANPET, Florianópolis, p. 69-76.
- Gartner, N. H.; S. F. Assman; F. Lasaga e D. L. Hou (1990) MULTIBAND – a Variable-Bandwidth Arterial Progression Scheme. *Transportation Research Record*, n. 1287, p. 212-222.
- GTK+ (2007) GTK+ - The GIMP Toolkit. Disponível em: <<http://www.gtk.org>>. Acesso em: 25 maio 2007.
- Little, J. D. C. (1966) The synchronization of Traffic Signals by Mixed-Integer Linear Programming. *Operations Research*, v. 14, p. 568-594.

Little J. D. C.; M. D. Kelson e N. H. Gartner (1981) MAXBAND: a Program for Setting Signals on Arteries and Triangular Networks. *Transportation Research Record*, n. 795, p. 40-46.

Little, J. D. C.; B. V. Martin e J. T. Morgan (1966) Synchronizing Traffic Signals for Maximal Bandwidth. *Highway Research Record*, n. 118, p. 21-47.

lp_solve (2007) lp_solve reference guide 5.5.0.10. Disponível em: <<http://lpsolve.sourceforge.net/5.5/>>. Acesso em 25 maio 2007.

Morgan, J. T. e J. D. C. Little (1964) Synchronizing Traffic Signals for Maximal Bandwidth. *Operations Research*, v. 12, p. 896-912.

PyGTK (2007) GTK+ for Python. Disponível em: <<http://www.pygtk.org>>. Acesso em: 25 maio 2007.

Python (2007) Python Programming Language Official Website. Disponível em: <<http://www.python.org>>. Acesso em: 25 maio 2007.

Rodrigo Castelan Carlson (rcarlson@das.ufsc.br)
Carolina Ensfield Lueders (carol_elu@yahoo.com.br)
Luciano Dionísio Dantas (ludantas@das.ufsc.br)
Departamento de Automação e Sistemas, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário, Bairro Trindade, Florianópolis, SC, Brasil – 88040-900, Caixa Postal 476