

# CONTROLE DE TRÁFEGO EM TEMPO REAL COM MAXIMIZAÇÃO DE BANDA

**Rodrigo Castelan Carlson**

**Werner Kraus Junior**

**Eduardo Camponogara**

Departamento de Automação e Sistemas

Universidade Federal de Santa Catarina

## RESUMO

Em vias arteriais é desejável a coordenação semafórica de maneira a favorecer a progressão de veículos. Para este fim, técnicas como a maximização de banda são utilizadas em sistemas a tempo fixo. Em sistemas de controle de tráfego em tempo real esta técnica não foi explorada. O projeto de pesquisa apresentado neste relatório de dissertação propõe a integração da técnica de maximização de banda MAXBAND com a estratégia de controle de tráfego em tempo real TUC. Para avaliar os resultados, será modelado um trecho de via arterial com cinco interseções utilizando ferramenta de micro-simulação de tráfego.

## ABSTRACT

Traffic signals coordination is desirable so as to achieve vehicle progression. To this end, bandwidth maximization techniques, among others, are used in fixed-time plan systems. In real-time urban control systems this technique has not been explored. The research project presented in this dissertation report proposes to integrate the bandwidth maximization technique MAXBAND and the TUC real-time urban traffic control strategy. To evaluate the results, a section of an arterial road with five intersections will be modelled with a microsimulation tool.

## 1. INTRODUÇÃO

A semaforização de interseções em malhas viárias urbanas é indispensável como ferramenta para gestão de conflitos e da fluidez do tráfego. Para garantir um bom controle, além do problema de temporização semafórica em interseções isoladas, é necessário resolver o problema da coordenação semafórica entre interseções adjacentes. No contexto do segundo problema, destacam-se os trabalhos de maximização de banda de verde em arteriais (Little, 1966; Little *et al.*, 1966), e uma generalização destes que inclui a otimização de fases de conversão à esquerda, coordenação de redes triangulares, entre outras melhorias, chamado MAXBAND (Little *et al.*, 1981). MAXBAND-86 (Chang *et al.*, 1988) é uma generalização do MAXBAND para aplicação em redes urbanas. Outros trabalhos utilizam-se de modelos de tráfego e algoritmos de otimização para obter a coordenação semafórica através da otimização de critérios como número de paradas e atraso veicular, com destaque para o *software* TRANSYT (Crabtree *et al.*, 1996). A natureza da segunda classe de trabalhos, em que a otimização baseia-se em fluxos, em contraposição à primeira classe, em que a otimização baseia-se em sinais, não produz bandas máximas para arteriais, em geral. Estas técnicas de temporização *offline* que geram planos a tempos fixos apresentam vários problemas, a maioria associados à variação imprevisível do tráfego.

Para poder responder a estas variações, nas décadas de 80 e 90 diversos sistemas de controle de tráfego em tempo-real, ou *online*, foram pesquisados e desenvolvidos. Entre os sistemas baseados nos conceitos de ciclo, defasagem e porcentagens dos tempos de verde, ou sistemas cíclicos, destacam-se SCOOT (Hunt *et al.*, 1982), SCATS (Lowrie, 1982) e TUC (Diakaki *et al.*, 2003). Outra abordagem, baseada em modelos e estratégias de otimização com horizonte deslizante, ou sistemas acíclicos, levou a sistemas como PRODYN (Farges *et al.*, 1990), OPAC (Gartner, 1983), RHODES (Head *et al.*, 1998). Todos incluem mecanismos para a obtenção de coordenação semafórica. Nos sistemas acíclicos, que são computacionalmente

complexos, e por isso agem localmente, resultados ótimos não necessariamente equivalem a resultados coordenados. Utilizam-se então de heurísticas ou algoritmos de otimização global para obter coordenação.

Apesar de muito utilizada em sistemas a tempos fixos, por receber relativamente poucos dados de entrada, ser operacionalmente robusta, ser de fácil visualização/avaliação em diagramas espaço-tempo (Little *et al.*, 1981), e em muitos casos reduzir o número de paradas e o atraso (Little *et al.*, 1966), a maximização de banda não foi explorada em sistemas de tempo real. A estratégia de controle em tempo real a ser utilizada é a *Traffic-Responsive Urban Control* - TUC (Diakaki *et al.*, 2003) que em ensaios de campo obteve resultados comparáveis a outras estratégias de controle como, por exemplo, ao SCOOT (Bielefeldt *et al.*, 2001). Apesar de realizar controle de ciclo, porcentagens e defasagem, TUC, como será visto, não é apropriada para aplicação em arteriais no que diz respeito à coordenação semafórica. Tendo em vista esta deficiência, propõe-se pesquisar como a maximização de banda de verde, em especial o programa MAXBAND, pode ser utilizada em conjunto com a estratégia de controle TUC.

## **2. MAXBAND E TUC**

O programa MAXBAND é um programa inteiro misto para obtenção de defasagem através da maximização da banda de verde. Além de maximização de banda de verde, MAXBAND varia as velocidades e ciclo de projeto e otimiza fases de conversão à esquerda. MAXBAND não leva em consideração os volumes para a determinação da largura da banda, especialmente aqueles provenientes de vias secundárias que se acumulam nas linhas de parada e ocupam a parte inicial da banda. É possível, por outro lado, dar um peso para que a banda em um sentido seja mais larga do que no outro, favorecendo o sentido com maior volume.

A estratégia de controle TUC foi inicialmente implementada para o controle global de porcentagens (Diakaki *et al.*, 2002) e aperfeiçoada para o controle de ciclo e defasagem, e priorização de transporte coletivo urbano (Diakaki *et al.*, 2003). Os controles de porcentagens e ciclo, ambos globais, foram desenvolvidos com base na teoria de controle realimentado, minimizando os riscos de sobressaturação e de bloqueios a montante no caso de controle de porcentagens, e se ajustando ao nível máximo de saturação observado no caso de controle de ciclo. O controle de defasagem é descentralizado e modifica os instantes de início do estágio principal de cada interseção, levando em conta o tamanho de filas existentes. O controle de defasagem tem um bom desempenho quando trata de vias de mão única ou quando se deseja favorecer a coordenação de apenas um sentido da arterial. É capaz de, em tempo real, decidir para qual sentido a coordenação será calculada. Mas, ainda que pesos possam ser atribuídos aos diferentes sentidos de uma arterial, estes prejudicam a coordenação, pois diminuem progressivamente o número de interseções que os veículos podem passar sem parar, à medida que se reduz o peso deste sentido.

## **3. MAXIMIZAÇÃO DE BANDA E CONTROLE EM TEMPO REAL**

Pretende-se integrar maximização de banda com controle em tempo-real por duas abordagens:

- desativar o controle de defasagem do TUC, mantendo os controles de ciclo e porcentagens. As defasagens serão aquelas determinadas através do MAXBAND para um valor nominal de porcentagens e ciclo. Variações de porcentagens tendem a destruir a banda. Verificar-se-á a robustez de uma defasagem obtida por MAXBAND

frente às mudanças de porcentagens. Espera-se obter um critério para determinar o momento de modificar a defasagem;

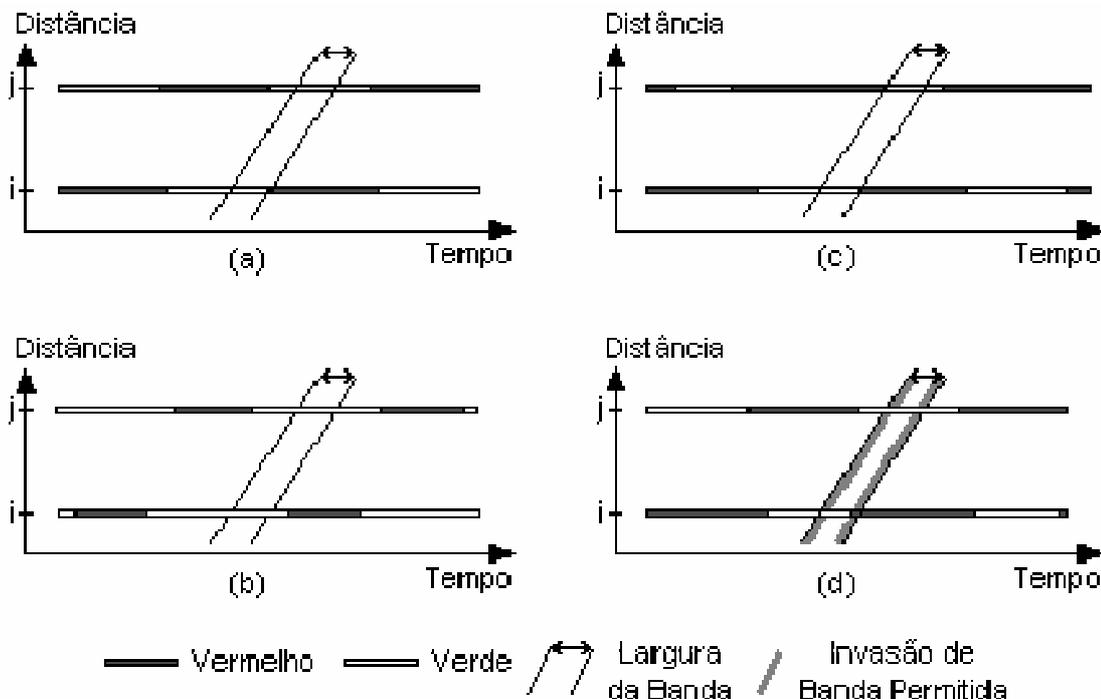
- como a anterior, mas obtendo-se em tempo-real as defasagens com MAXBAND.

As variações de porcentagens podem ser tanto reduções como aumentos do tempo de verde, podendo sofrer restrições que não apenas as de verdes mínimos e máximos. A Figura 1a mostra um caso base de uma banda de verde da interseção  $i$  para a interseção  $j$ . Aumentos nos tempos de verde estão restritos apenas aos verdes máximos da via principal, e verdes mínimos das vias secundárias (Figura 1b). Reduções das porcentagens poderão estar restritas a não invadirem a banda e não poderão ser reduzidas em interseções críticas (Figura 1c), ou então estarão restritas a valores máximos de invasão de banda (Figura 1d).

O controle de porcentagens e ciclo em tempo-real permite adaptar a temporização a variações de fluxo. Como MAXBAND não considera fluxos, as variações de porcentagens podem melhorar o desempenho global, principalmente ao que se refere ao fluxo proveniente de vias secundárias que se acumulam nos semáforos da arterial ao converterem à direita ou à esquerda. O controle do tempo de ciclo permite manter o grau de saturação da interseção crítica em valores ótimos.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo será realizado utilizando um micro-simulador de tráfego. As simulações serão realizadas sobre um modelo de via arterial num trecho que compreende cinco interseções e dois quilômetros de extensão. São seis faixas divididas em duas vias em um sentido, e três faixas em uma via no sentido contrário. É a principal arterial da cidade servindo de ligação entre vários bairros e o centro da cidade. O trecho em estudo está próximo a um *Shopping-Center* e a uma área residencial/comercial com movimento intenso de veículos, e área escolar.



**Figura 1:** Variações de porcentagens nas interseções  $i$  e  $j$ ; a) caso base; b) aumento; c) redução/interseção crítica; d) redução/invasão de banda

Para este trabalho MAXBAND foi implementado utilizando a linguagem de programação matemática AMPL (Fourer *et al.*, 1998) e o pacote de otimização CPLEX (ILOG, 1996). A estratégia de controle TUC está implementada em linguagem C. O modelo e a interface em linguagem C++, que irá executar a estratégia de controle e interagir com o simulador, e as configurações para utilização com a estratégia TUC estão prontos.

Simulações com planos obtidos através do MAXBAND e com controle em tempo-real utilizando a estratégia TUC serão realizadas. As porcentagens para utilização com MAXBAND serão obtidas utilizando-se o programa EQUISAT que acompanha o TRANSYT. Os ensaios com MAXBAND e TUC integrados seguirão as duas abordagens já apresentadas, com e sem controle de ciclo, e com e sem restrições para variação de porcentagens.

#### **Agradecimentos**

O primeiro autor agradece à CAPES pela concessão de sua bolsa de mestrado.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Bielefeldt, C.; Diakaki, C. e Papageorgiou, M. (2001) TUC and the SMART NETS project. *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings*, IEEE, Oakland, CA, USA, p. 55-60.
- Chang, E. C-P.; Cohen, S. L. ; Liu, C.; Chaudhary, N. A. e Messer, C. (1988) MAXBAND-86: Program for Optimizing Left-Turn Phase Sequence in Multiarterial Closed Networks. *Transportation Research Record*, n. 1181, p. 61-67.
- Crabtree, M.R.; Vincent, R.A. e Harrison, S. (1996) *TRANSYT 10: user's guide*. Transport and Road Research Laboratory, Technical Report, Crawthorne, UK.
- Diakaki, C. M.; Papageorgiou, M. e Aboudolas, K. (2002) A Multivariable regulator approach to traffic-responsive network-wide signal control. *Control Engineering Practice*, n. 10, p. 183-195.
- Diakaki, C. M.; Dinopoulou V.; Aboudolas, K.; Papageorgiou, M.; Ben-Shabat, E.; Seider, E. e Leibov, A. (2003) Extensions and new applications of the traffic signal control strategy TUC. *Transportation Research Record*, n.1856, p. 202-216.
- Farges, J. L.; Khoudour, L. e Lesort, J. B. (1990) PROLYN: On site evaluation. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> IEE Conference on Road Traffic Control*, IEEE, London, p. 62-66.
- Fourer, R.; Gay, D. M. e Kernighan, B. W. (1998) *AMPL: A Modeling Language For Mathematical Programming*. boyd & fraser publishing company, The Scientific Press Series, Danvers, MA, USA.
- Gartner, N. H. (1983) OPAC: a demand-responsive strategy for traffic signal control. *Transportation Research Record*, n. 906, p. 75-81.
- Head, K. L.; Mirchandi, P. B. and Shelby, S. (1988) The RHODES prototype: a description and some results. *77th Transportation Research Board Annual Meeting*, TRB, Tucson, p. 1-12.
- Hunt, P. B.; Robertson, D. I.; Bretherton, R. D. e Royle, M. C. (1982) The SCOOT on-line traffic signal optimisation technique. *Traffic engineering and control*, n. 23, p.190-199.
- ILOG (2003) *ILOG CPLEX 9.0: Getting Started*. Technical Manual, ILOG Incorporated, Mountain View, CA.
- Little, J. D. C. (1966) The Synchronization of Traffic Signals by Mixed-Integer Linear Programming. *Operations Research*, n. 14, p. 568-594.
- Little, J. D. C.; Martin, B. V. e Morgan, J. T. (1966) Synchronizing Traffic Signals for Maximal Bandwidth. *Highway Research Record*, n. 118, p. 21-47.
- Little, J. D. C.; Kelson, M. D. e Gartner, N. H. (1981) MAXBAND: A Program for Setting Signals on Arteries and Triangular Networks. *Transportation Research Record*, n. 795, p. 40-46.
- Lowrie, P. R. (1982) The Sydney co-ordinated adaptive traffic system - principles, methodology algorithms. *Proceedings of the IEE international conference on road traffic signalling*, London, p. 67-70.

---

Rodrigo Castelan Carlson (rcarlson@das.ufsc.br)

Werner Kraus Júnior (werner@das.ufsc.br)

Eduardo Camponogara (camponog@das.ufsc.br)

DAS, CTC, UFSC - Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis - SC - Brasil