

KONSEP PENGATUR LALU-LINTAS SINKRON ADAPTIF KEPADATAN UNTUK SOLUSI MINIMALISASI DURASI WAKTU TUNGGU KENDARAAN

Freddy Kurniawan^{*)}, Rahmat Adiprasetya Al Hasibi^{**)}

^{*)} Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto
Komplek Lanud Adusucipto, Yogyakarta, Telp: (0274) 564465/7 (sentral)

^{**)} Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Lingkar Barat, Tamantirto, Kasihan Bantul, Yogyakarta (0274)387656

ABSTRACT

To minimize travel time in a highway, some traffic controllers must be synchronized to the other. Intersection controllers of an area are interconnected with a communication network through which synchronization information is exchanged. The main purpose of synchronized traffic control system is to minimize the waiting time of almost all vehicles in each traffic light. Green and duration time of all traffic control system are derived from some parameters such as adjacent green time, vehicle speed and acceleration, and estimation of travel time. The cycle time must be the same at all synchronous traffic control systems. They cannot be locally adaptive. Increasing traffic flow could produce bottleneck at some incoming directions. The adaptive synchronous traffic light controller can minimizing vehicle's waiting time especially at main direction. The main majority of this concept is adaptation procedure can be held while synchronization. Traffic flow fluctuations should not produce bottleneck at all directions especially main direction. The traffic control system is not synchronized to the others but to traffic-flow data stream generated by detectors.

Keywords: *bottleneck, cycle time, waiting time, adaptive synchronous traffic control system.*

PENDAHULUAN

Jalan utama di suatu daerah dapat mempunyai beberapa persimpangan dengan pengatur lalu-lintas. Agar waktu tempuh kendaraan yang malaju di jalur utama menjadi minimum, maka durasi waktu tunggu kendaraan di setiap persimpangan harus dibuat minimum. Kendaraan tersebut harus lebih sering mendapat isyarat hijau setiap tiba di setiap pengatur lalu-lintas.

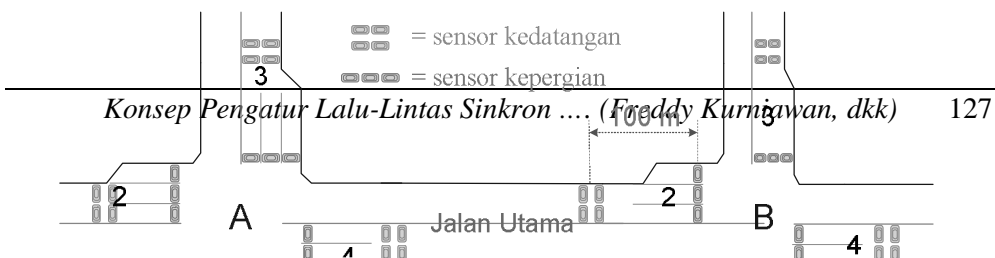
Salah satu cara untuk mewujudkan hal tersebut adalah menerapkan sistem pengatur lalu-lintas sinkron. Pada sistem ini, semua pengatur lalu-lintas di jalur utama dibuat sedemikian rupa sehingga sebagian besar kendaraan yang melintas di jalur utama akan langsung mendapatkan isyarat hijau atau tidak terlalu lama menanti isyarat hijau saat tiba di sebuah pengatur lalu-lintas. Untuk itu, informasi waktu hijau untuk beberapa pengatur lalu-lintas sinkron harus saling diinformasikan.

Agar beberapa pengatur lalu-lintas dapat disinkronkan, periode siklus pengatur lalu-lintas tersebut harus sama, meskipun waktu hijau dapat bergeser. Setiap pengatur lalu-lintas tidak dapat mengubah periode siklusnya sebagaimana sistem adaptif nonsinkron. Sehingga adanya peningkatan kepadatan kedatangan kendaraan dari suatu arah dapat mengakibatkan kenaikan durasi waktu tunggu kendaraan dari arah tersebut.

Persoalan tersebut diatasi dengan membuat konsep sistem pengatur lalu-lintas sinkron adaptif. Pada sistem ini, pengatur lalu-lintas tidak disinkronkan dengan pengatur lalu-lintas lain, namun disinkronkan dengan data kepadatan kedatangan kendaraan arah utama yang didapat dari sensor. Implementasi sistem ini tidak lagi membutuhkan media komunikasi untuk proses sinkronisasi. Sistem juga dapat beradaptasi dengan memberi tanggapan atas perubahan kepadatan kedatangan kendaraan dari setiap arah. Dengan sistem ini diharapkan proses sinkronisasi dan adaptasi dapat berjalan bersama-sama sehingga dapat meminimalkan durasi waktu tunggu kendaraan terutama dari arah utama.

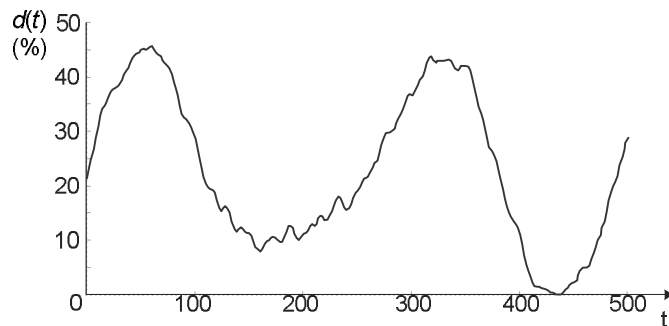
Di setiap arah kedatangan, terdapat dua macam sensor, yaitu sensor kedatangan dan sensor kepergian, sebagaimana terlihat pada

Gambar 1 (Lascarov, dkk., 2006). Dari data keberadaan kendaraan di atas sensor kedatangan, dapat ditentukan nilai parameter waktu kedatangan, jumlah, kecepatan, percepatan (Sun dan Ritchie, 1999), panjang kendaraan, ketercakupan jalan oleh kendaraan dan jenis kendaraan di atas sensor kedatangan (Tawfik, dkk., 2002). Dari nilai ketercakupan jalan oleh kendaraan dapat ditentukan kepadatan suatu ruas jalan.



Gambar 1 Letak sensor di persimpangan (Lascarov, dkk. 2006)
Dengan letak sensor sebagaimana

Gambar 1, dapat diperoleh runtun data kepadatan kedatangan kendaraan atau $di_x(t)$, dan runtun data kepadatan kepergian kendaraan atau $do_x(t)$. Runtun data kepadatan kedatangan di A4 dan B2 cenderung berpola periodis sebagaimana Gambar 2 karena terdapat pengatur lalu-lintas lain pada arah tersebut; sedangkan runtun data kepadatan kedatangan arah lain cenderung berpola acak (Howell, 2006).



Gambar 2 Grafik kepadatan kedatangan berpola periodis

Durasi waktu tunggu semua kedatangan saat t_d adalah:

$$\varpi(t_d) = d(t_d) \times (t_o - t_d) \quad (1)$$

dengan $d(t_d)$ = kepadatan saat t_d
 t_o = waktu kepergian kendaraan
 t_d = waktu kedatangan kendaraan

Durasi waktu tunggu semua kendaraan yang datang selama isyarat merah:

$$\hat{W}(t_o) = \sum_{t=t_o-T}^{t_o-1} d(t) \times (t_o - t) \quad (2)$$

dengan $d(t)$ = kepadatan saat t
 T adalah periode siklus sistem pengatur lalu-lintas sinkron adaptif yang ditentukan dari alih ragam Fourier atas data kepadatan kedatangan (Kuc, 1988).

$$Di_x(n) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} di_x(t) \cdot e^{-j2\pi t \frac{n}{N}} \quad (3)$$

dengan $di_x(t)$ = nilai kepadatan kedatangan saat t .

$$T = \frac{\Delta t}{n_{dom}} \quad (4)$$

dengan Δt = selang waktu yang diwakili larik di_x
 n_{dom} = indeks Di_x yang menjadikan nilai $Di_x(n)$ maksimal
 Nilai t_o yang menjadikan $\hat{w}(t_o)$ menjadi minimal dijadikan waktu optimum dimulainya isyarat hijau atau $\hat{t}h_n$. Nilai $\hat{t}h_n$ untuk siklus berikutnya adalah:

$$\hat{t}h_{n+1} = \hat{t}h_n + T \quad (5)$$

dengan $\hat{t}h_{n+1}$ = waktu hijau optimum arah utama siklus berikutnya
 $\hat{t}h_n$ = waktu hijau optimum arah utama siklus ini

METODOLOGI PENELITIAN

Sintesa Persamaan

Galat waktu mulai hijau arah utama siklus ke-y adalah:

$$\varepsilon_y = \hat{t}h_y - th_y \quad (6)$$

dengan $\hat{t}h_y$ = waktu hijau optimum arah utama siklus ke-y
 th_y = waktu hijau arah utama siklus ke-y

Galat durasi hijau arah x siklus ke-y terhadap durasi hijau optimum adalah:

$$\Delta h_{x,y} = h_{x,y} - h_{opt_{x,y}} \quad (7)$$

dengan $h_{x,y}$ = durasi hijau arah x siklus ke- y
 $h_{opt_{x,y}}$ = durasi hijau optimum arah x siklus ke- y .

Kepadatan kepergian pada akhir hijau dapat menjadi perkiraan panjang antrian kendaraan yang tersisa pada saat isyarat hijau berganti ke merah.

$$Sh'_{x,y+1} = \frac{d Sh_{x,y+1}}{dt} = \frac{Sh_{x,y+1} - Sh_{x,y}}{t_{x,y+1} - t_{x,y}} \quad (8)$$

dengan $Sh_{x,y}$ = kepadatan kepergian pada akhir hijau arah x siklus ke- y
 $Sh'_{x,y+1}$ = turunan $Sh_{x,y}$ siklus berikutnya
 $t_{x,y}$ = waktu berakhirnya isyarat hijau arah x siklus ke- y
 $t_{x,y+1}$ = waktu berakhirnya isyarat hijau arah x siklus berikutnya

Perubahan durasi hijau karena perubahan perkiraan panjang antrian adalah

$$\Delta ha_{x,y} = (Sh'_{x,y} - \frac{1}{4} \sum_{x=1}^4 Sh'_{x,y}) \times \frac{1}{4} \sum_{x=1}^4 h_{x,y}$$

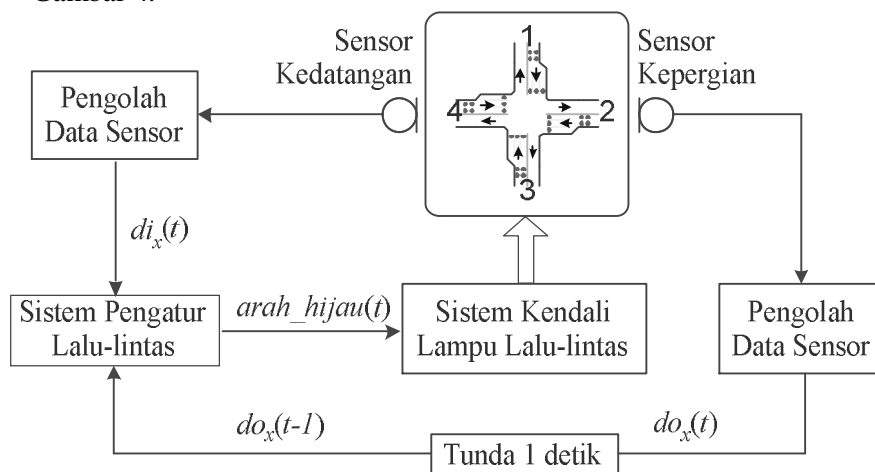
dengan $Sh'_{x,y}$ = turunan kepadatan di akhir hijau arah x siklus ke- y
 Durasi hijau arah x siklus berikutnya adalah:

$$h_{x,y+1} = h_{x,y} + \varepsilon_y/4 + \alpha (\Delta h_{x,y} + \Delta ha_{x,y})$$

dengan α = koefisien adaptasi, pada penelitian ini $\alpha=0,5$.

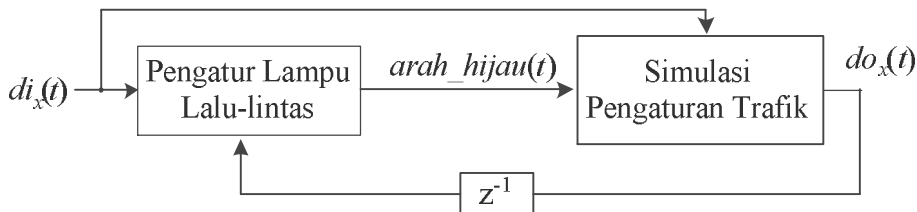
Pemodelan dan Simulasi

Pengatur lalu lintas dikemas dalam sebuah sistem pengatur lalu-lintas di Gambar 3 dan dibuat model *simulink* di MATLAB 6.5.1 sebagaimana Gambar 4.



Gambar 3 Bagan sistem pengatur lalu-lintas

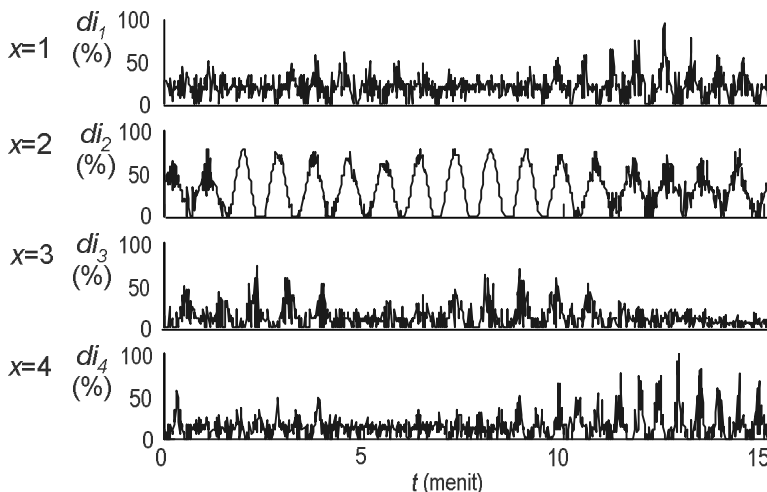
Pada simulasi ini terdapat dua subsistem utama, yaitu subsistem Pengatur Lalu-Lintas dan subsistem Simulasi Pengaturan Trafik. Subsistem pertama bertindak sebagai sistem pengatur lalu-lintas; sedangkan subsistem kedua berfungsi melakukan simulasi pengaturan trafik. Setiap subsistem dibentuk dari beberapa *S-Function* dengan listing dalam bahasa C.



Gambar 4 Model sistem pengatur lalu-lintas

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Percobaan ini dilakukan dengan memberi masukan data kepadatan kedatangan atas model yang telah dibuat sebagaimana Gambar 5.



Gambar 5 Grafik kepadatan kedatangan

Pada sistem pengatur lalu-lintas nonadaptif, dengan semakin tingginya nilai kepadatan kedatangan dari arah utama, maka akan semakin panjang pula antrian kendaraan yang tertahan. Kemungkinan sebuah kendaraan mengalami isyarat

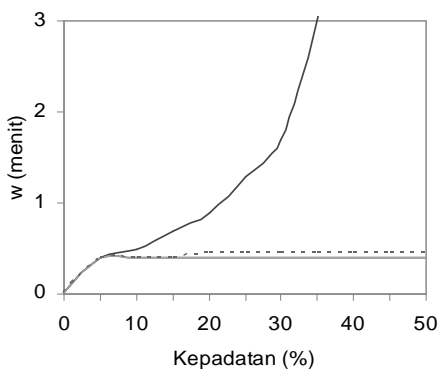
merah lebih dari satu kali akan semakin besar pula. Hal tersebut dapat meningkatkan nilai w untuk arah utama sebagaimana

Gambar 6 (a). Penggunaan sistem adaptif dapat menurunkan nilai w untuk semua arah dengan cara menaikkan durasi hijau sebagaimana (b). Penggunaan sistem sinkron dapat menurunkan nilai w arah utama cukup berarti hingga tingkat kepadatan kedatangan tertentu meskipun terdapat kenaikan nilai w untuk arah lain sebagaimana

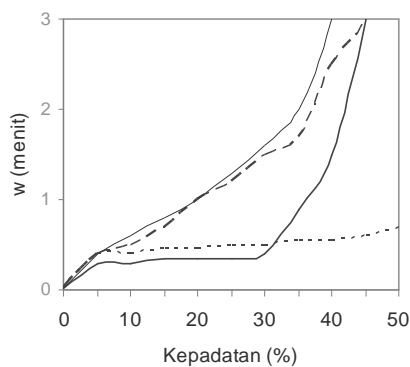
Gambar 6 (c).

Nilai w untuk arah utama (arah ke-2) dapat dijadikan minimal dengan menerapkan sistem sinkron adaptif sebagaimana

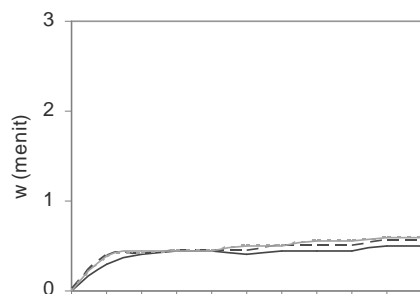
Gambar 6 (d). Pada sistem ini nilai w arah utama akan di bawah nilai w sistem nonadaptif, adaptif dan sistem sinkron. Nilai tersebut juga di bawah nilai periode siklus, sehingga tidak ada kendaraan yang mengalami isyarat merah dua kali. Sedangkan nilai w arah lain dapat naik jika durasi hijau arah tersebut sudah tidak dapat menghabiskan antrian.



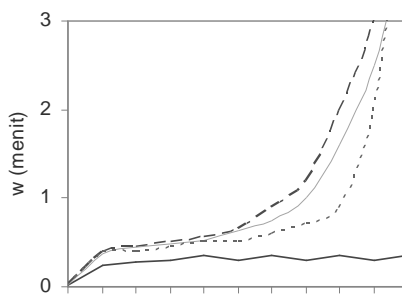
a



c



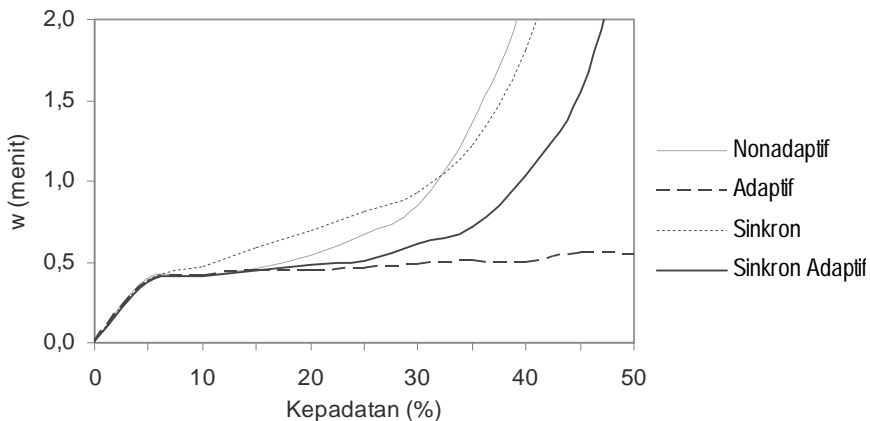
$\frac{1}{\lambda_i}, V_{0i}$



..... arah 1 ————— arah 2 (utama) ————— arah 3 arah 4

Gambar 6 Grafik durasi waktu tunggu sistem (a) nonadaptif, (b) adaptif, (c) sinkron, dan (d) sinkron adaptif.

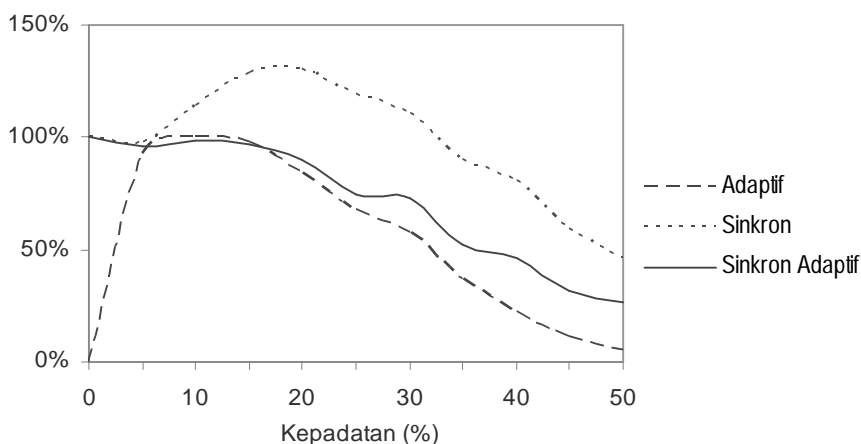
Jika dikehendaki minimalisasi durasi waktu tunggu semua arah, maka penerapan sistem sinkron adaptif dapat memberikan kinerja lebih baik daripada sistem adaptif pada kisaran nilai kepadatan 5 % hingga 20 % sebagaimana Gambar 7. Pada kisaran tersebut, nilai w untuk arah utama dapat menjadi minimal, namun nilai w untuk arah lain tidak mengalami kenaikan cukup berarti sehingga rerata nilai w untuk semua arah menjadi minimal.



Gambar 7 Nilai rerata w trafik takseragam

Peningkatan kinerja sistem dapat dilihat dengan menentukan perbandingan nilai w untuk sistem adaptif, sinkron dan sinkron adaptif terhadap nilai w untuk sistem nonadaptif sebagaimana Gambar 8. Pada gambar tersebut terlihat, bahwa penggunaan sistem sinkron adaptif efektif untuk meminimalkan durasi waktu

tunggu kendaraan dari semua arah pada kisaran kepadatan 5 % hingga 15 %. Pada kisaran kepadatan tersebut, durasi hijau semua arah masih cukup untuk menghabiskan antrian kendaraan dan sisa durasi hijau tidak terlalu besar. Pada kisaran tersebut, nilai w untuk sistem sinkron adaptif lebih rendah 10 % dibandingkan dengan nilai w untuk sistem adaptif dan memberikan nilai durasi waktu tunggu minimal dibandingkan sistem nonadaptif, adaptif dan sinkron.



Gambar 8 Perubahan nilai w sistem adaptif, sinkron dan sinkron adaptif terhadap sistem nonadaptif.

Pada kepadatan trafik di bawah 5 % penggunaan sistem pengatur lalu-lintas adaptif lebih efektif untuk menurunkan durasi waktu tunggu semua arah. Pada kisaran tersebut durasi waktu tunggu sistem sinkron adaptif sama dengan durasi waktu tunggu sistem nonadaptif; sedangkan durasi waktu tunggu sistem adaptif akan menurun menuju nol dengan menurunnya kepadatan trafik.

Pada kepadatan trafik di atas 15 % penggunaan sistem pengatur lalu-lintas adaptif juga lebih efektif untuk menurunkan durasi waktu tunggu semua arah. Pada kisaran tersebut, durasi waktu tunggu sistem adaptif selalu lebih rendah dibandingkan durasi waktu tunggu sistem sinkron adaptif. Selisih durasi waktu tunggu kedua sistem semakin besar untuk trafik lebih padat.

KESIMPULAN

Durasi waktu tunggu arah utama dapat diturunkan hingga di bawah nilai durasi waktu tunggu sistem nonadaptif, adaptif dan sistem sinkron dengan: mensinkronkan waktu hijau arah utama dengan kepadatan kedatangan kendaraan dari arah utama, dan mengadaptasi durasi waktu hijau arah utama dengan kepadatan kedatangan kendaraan dari arah utama.

Penerapan sistem pengatur lalu-lintas sinkron adaptif dapat meminimalkan nilai durasi waktu tunggu kendaraan (w) dari arah utama. Nilai w arah utama akan

konstan di bawah nilai periode siklus, meskipun nilai w arah w lain dapat naik jika durasi hijau arah tersebut tidak dapat menghabiskan antrian

Penerapan sistem pengatur lalu-lintas sinkron adaptif dapat meminimalkan durasi waktu tunggu kendaraan dari semua arah jika durasi hijau semua arah masih dapat menghabiskan antrian kendaraan dan tidak ada sisa waktu hijau di semua arah. Pada saat tersebut durasi waktu tunggu sistem sinkron adaptif lebih rendah 10 % dibandingkan durasi waktu tunggu sistem adaptif.

Dalam kondisi trafik sangat rendah atau sangat tinggi, penggunaan sistem pengatur lalu-lintas adaptif lebih efektif untuk menurunkan durasi waktu tunggu semua arah.

DAFTAR PUSTAKA

- Akçelik, R. & Besley, M., 2001, *Microsimulation and Analytical Methods For Modelling Urban Traffic*, Conference on Advance Modeling Techniques and Quality of Service in Highway Capacity Analysis, Truckee, California, U.S.A.
- Howell, W.C., 2006, *Simulation Optimization of Traffic Light Signal Timings Via Perturbation Analysis*, Dissertation, Applied Mathematics and Scientific Computation Program, University of Maryland, College Park, U.S.A.,.
- Kuc, R., 1988, *Introduction to Digital Signal Processing*, pp. 80-82, McGraw-Hill International Edition, Singapore.
- Lascarov, A., Machedon, M., Moraru, I., Tudor, B., 2006, *IntelliTraffic (an adaptive traffic control system)*, "Politechnica" University of Bucharest., India
- Sun, C., Ritchie, S.G., 1999, *Individual Vehicle Speed Estimation using Single Loop Inductive Waveforms*, Working Paper, Institute of Transportation Studies, University of California, U.S.A.
- Tawfik, A.Y., Pend, A., Tabib, S.M., and Abdulhai, B., 2002, *Learning Spatio-temporal Context for Vehicle Reidentification*, Working Paper, Intelligent Transportation Research Centre, University of Toronto, Canada.
- Wiering, M., Veenen, J. van, Vreeken, J., Koopman, A., 2004, *Intelligent Traffic Light Control*, Technical Report, Institute of Information and Computing Sciences, Utrecht University, British.