

SP 14/11/80

064/80

Programa Netsim: Proposta e Aplicação

Eng.º Eduardo Antonio Moraes Munhoz

Introdução

Em sua prática diária, o engenheiro de tráfego defronta-se constantemente com questões do tipo "que alternativa de projeto é a mais indicada para um dado problema", ou ainda, "qual é a eficiência de diferentes métodos e programas de controle nas interseções sinalizadas".

Na maioria das vezes, a abordagem do problema é feita, pelo menos inicialmente, com base na experiência individual de trabalho, o que, apesar de ser uma consideração válida, é subjetiva e não homogênea.

Por outro lado, o estudo em campo de cada uma das alternativas dificilmente pode ser aferida na prática, pois a maioria das experimentações é inevitável devido às perturbações que causam ao tráfego e à limitação de recursos disponíveis (tempo, custo, pessoal, equipamento etc.). Entre esses dois pólos (consideração subjetiva e avaliação empírica), deve-se buscar uma solução de equilíbrio que represente um compromisso entre os fatores de complexidade do problema, tempo e margem de segurança da resposta e processo de apoio para tomada de decisões.

Para problemas simples e cotidianos, soluções com base na experiência histórica acumulada são imediatas e suficientes.

Programa Netsim

Sumário

O programa Netsim é um simulador detalhado de veículos individuais em movimento numa rede de vias urbanas. Ele foi projetado para ser uma ferramenta operacional, a ser utilizada tanto por engenheiros de campo como por pesquisadores, com o objetivo de avaliar estratégias alternativas de controle e gerenciamento de tráfego no sistema viário existente.

O modelo foi desenvolvido em módulos, de maneira a proporcionar uma grande flexibilidade no seu uso. Apesar de ter sido projetado para simular estratégias complexas de controle de redes, atendendo a grandes volumes de tráfego, o modelo é extremamente útil na análise dos efeitos de medidas mais simples, como restrição à conversão, estacionamento, canalização, sistemas de prioridade para ônibus e todas as estratégias de controle de semáforos de tempo fixo e atuados.

O programa foi escrito em linguagem Fortran-IV, podendo ser operado em computadores IBM série 360/370 e sua versão atual requer aproximadamente 500 K-bytes de memória. O Netsim imprime, por meio das listagens de saída, relatórios de estatísticas e diagnósticos relativos às vias individuais e à rede como um todo.

Figura 1
Representa um fluxograma simplificado do sistema Netsim.

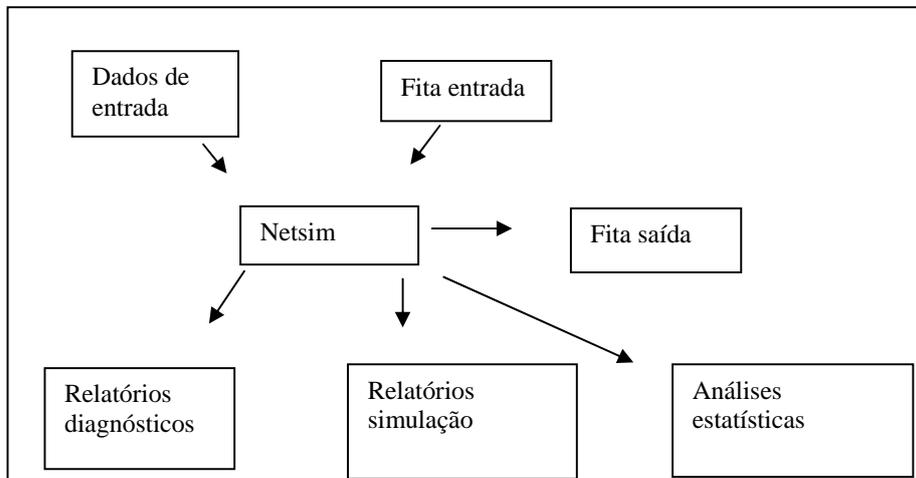


Figura 1 - Fluxograma Simplificado do Netsim.

Os resultados da simulação são medidos em termos de paradas por veículo, atraso total, tempo de percurso, número de ciclos saturados, consumo de combustível e emissão de poluentes (HC, CO e NOX). Além disso, controlando-se adequadamente essas variáveis no modelo, pode-se estudar e aferir a influência individual que cada uma delas tem sobre o comportamento geral.

As figuras 2 e 3 são exemplos de resultados do programa NESTIM

Figura 3 – Valores de consumo de combustível e emissão de poluentes.

Adicionalmente, o Netsim é um dos poucos modelos de simulação que realiza avaliação quantitativa de consumo de combustível e poluição do ar.

A Nota Técnica 49 - Modelo de Simulação de Tráfego Urbano UTCS - 1, contém informações complementares sobre as características do programa, pois o Netsim é uma versão atualizada e revista do modelo UTCS - 1.

Figura 2 – Estatísticas dos parâmetros de tráfego para a rede viária

Figura 3- Valores de consumo

CUMULATIVE STATISTICS SINCE BEGINNING OF SIMULATION
PRESENT TIME IS 11 13 0. ELAPSED SIMULATION TIME IS 5 MINUTES, 0 SECONDS

LINK STATISTICS																
LINK	VEH- MILES	VEH- TRIP	MOV- TIME V-MIN	DELAY TIME V-MIN	AVT	TOTAL TIME V-MIN	T-TIME /VEH. SEC	T-TIME/ VEH-MILE SEC/MILE	D-TIME /VEH. SEC	D-TIME/ VEH-MILE SEC/MILE	PCT STOP DELAY	AVE. SPEED MPH	AVE. OCC.	STOPS /VEH	AVE SAT PCT	AVG CYCL FAR
(2,1)	4.2	88	7.8	0.8	0.04	17.2	18.4	243.2	18.2	136.3	38	14.8	8.4	0.63	6	0
(3,1)	4.7	62	8.8	12.8	0.39	38.8	39.2	267.1	12.6	104.3	46	13.5	4.3	0.34	7	0
(1,2)	4.8	89	7.8	2.8	0.72	16.8	16.8	143.8	2.8	38.3	0	26.8	2.2	0.8	6	0
(1,3)	5.2	89	8.8	4.2	0.88	13.8	11.3	198.1	2.8	46.3	18	24.8	2.8	0.67	8	0
(4,1)	2.7	36	8.8	0.2	0.42	14.2	23.7	313.1	13.8	103.8	94	11.8	2.8	0.81	6	0
(6,1)	2.8	33	6.8	0.3	0.04	11.3	28.8	271.8	11.8	188.8	04	13.3	2.3	0.78	6	0
(1,4)	1.8	25	4.8	1.8	0.71	6.8	13.6	178.8	2.8	61.8	0	28.1	1.3	0.8	3	0
(1,5)	2.4	32	4.8	2.3	0.76	7.3	13.2	178.8	4.8	62.7	0	28.8	1.8	0.78	4	0

NETWORK STATISTICS

VEHICLE-MILES = 28.16 VEHICLE-MINUTES = 100.1 VEHICLE-TRIPS (EST.) = 127 STOPS/VEHICLE = 0.58
 NET-TOTAL TRIP TIME = 8.823 AVE. SPEED (MPH) = 16.38 MEAN OCCUPANCY = 13.8 VEH. AVE DELAY/VEHICLE = 15.32 SEC
 TOTAL DELAY = 47.7 MIN. DELAY/VEH-MILE = 1.70 MIN/V-MILE TRAVEL TIME/VEH-MILE = 2.56 MIN/V-MILE
 STOPPED DELAY AS A PERCENTAGE OF TOTAL DELAY = 38.2

1 mile = 1.6 km

Figura 2. - Estatísticas dos parâmetros de tráfego para a rede viária.

CUMULATIVE VALUES OF FUEL CONSUMPTION AND OF EMISSIONS

LINK	FUEL CONSUMPTION						VEHICLE EMISSIONS (GRAMS/MILE)								
	GALLONS			M.P.G.			HC			CO			NO X		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
(2,1)	0.5	0.1	0.0	7.1	3.1	0.0	5.3	0.8	0.8	82.5	0.8	0.8	10.8	0.8	0.8
(3,1)	0.8	0.2	0.0	8.7	3.6	0.0	5.7	0.8	0.8	10.0	0.8	0.8	11.8	0.8	0.8
(1,2)	0.4	0.1	0.0	10.4	3.7	0.0	3.4	0.8	0.8	53.3	0.8	0.8	8.4	0.8	0.8
(1,3)	0.5	0.1	0.0	9.2	3.6	0.0	3.8	0.8	0.8	60.8	0.8	0.8	9.4	0.8	0.8
(4,1)	0.4	0.8	0.8	7.7	3.4	0.8	5.5	0.8	0.8	96.1	0.8	0.8	9.3	0.8	0.8
(6,1)	0.3	0.1	0.0	7.8	3.9	0.0	6.4	0.8	0.8	94.4	0.8	0.8	9.5	0.8	0.8
(1,4)	0.2	0.8	0.8	8.6	3.3	0.0	3.8	0.8	0.8	63.8	0.8	0.8	8.7	0.8	0.8
(1,5)	0.3	0.0	0.8	8.6	2.9	0.0	4.8	0.8	0.8	64.5	0.8	0.8	9.1	0.8	0.8

NETWORK-WIDE STATISTICS

3.18	0.61	0.0	8.16	3.50	0.0	4.62	0.8	0.8	77.93	0.8	0.8	9.65	0.8	0.8
------	------	-----	------	------	-----	------	-----	-----	-------	-----	-----	------	-----	-----

* VEHICLE TYPE 1 - COMPOSITE AUTO, TYPE 2 - TRUCK, TYPE 3 - BUS

1 gal. = 3.8 l
1 mile = 1.6 km

Área de Aplicação

- Dentre as aplicações do Netsim na engenharia de tráfego, destacam-se as seguintes:
- Simulação de métodos de operação e de controle semafórico para interseções isoladas como, por exemplo, comparação de desempenho de semáforos atuados e a tempo fixo;
 - Estudos de programação semafórica para redes de tráfego pequenas e/ou em regiões de alta densidade de tráfego;
 - Simulação dos impactos de implantação de faixas exclusivas de ônibus na área central e/ou em regiões de alta densidade de tráfego;
 - Estudo dos efeitos de instalação de pólos geradores de tráfego (supermercados, shopping centers etc.);

- Mudanças na sinalização de regulamentação como por exemplo, permissão de estacionamento em áreas próximas aos centros comerciais, proibição de conversões etc.;
- Análise de mudanças geométricas nas interseções;
- Uso do modelo para acompanhar individualmente a trajetória e comportamento de um veículo no sistema viário, a fim de considerar os efeitos causados pelas alterações de operação e/ou programação semafórica. Isto permite uma análise direta das medidas propostas em função das solicitações individuais dos motoristas;
- Instalação de semáforo e sua influência nas interseções adjacentes; e
- Análise do desempenho de operação dos ônibus em função da programação semafórica. (Figura 4).

Figura 4 – Estatísticas de operação de ônibus

BUS STATISTICS					
LINK	NUMBER PROCESSED	MOVING TIME MIN	DELAY TIME MIN	M/T	NUMBER OF STOPS
(3, 4)	5	2.0	0.8	0.71	0
(4, 6)	5	2.1	0.5	0.82	2
(6, 5)	5	1.1	0.7	0.82	0
(8, 4)	5	1.2	0.0	0.98	0
(4, 3)	5	2.2	2.0	3.53	5
(70, 6)	5	1.4	0.7	0.68	1
(6, 62)	5	0.4	0.8	0.38	0
(62, 6)	5	0.5	1.9	0.20	4
(61, 6)	5	0.5	2.0	0.21	4
(70, 7)	5	3.2	0.8	0.78	2
(7, 8)	5	1.2	0.9	0.55	1
(6, 70)	5	1.5	0.5	0.78	0
(31, 3)	5	0.7	1.2	0.35	3
(3, 31)	5	0.7	0.7	0.48	0
(6, 61)	5	0.5	0.5	0.49	0
(7, 70)	5	1.5	.0	0.71	0
(71, 7)	5	0.6	1.6	0.27	5
(8, 81)	5	0.6	0.7	0.49	0

BUS ROUTE DATA				
ROUTE	BUSES PROCESSED	TOTAL TRAVEL TIME MIN	TOTAL DWELL TIME MIN	AVG. SPEED MPH
1	5	8.7	0.0	21.8
2	5	3.3	0.0	10.3
3	5	11.2	0.0	16.8
4	5	14.7	0.0	26.0

SEED FOR RANDOM NUMBER GENERATOR IS 76539661

1 mph = 1.6 km/h

Caso Exemplo de Aplicação

Este caso exemplo é uma descrição da aplicação do Netsim para análise de configurações e sequência de estágios, com o objetivo de comparar o desempenho de cinco estratégias de controle de tráfego numa interseção sinalizada da cidade de Salt Lake, Utah, Estados Unidos. Ele foi extraído e condensado do artigo *Analyzing Intersection Performance With Netsim*, revista *Public Roads* vol. 42, n.º 1, pg. 24-29.

Duas das estratégias consideraram o uso do equipamento existente e mantiveram as atuais políticas de operação. As demais representavam alternativas de estudo de interesse da Divisão de Segurança do Departamento de Transporte de Utah.

Antes do processamento das simulações, foi feito um teste de consistência dos dados previstos pelo modelo, escolhendo-se como variável-teste a contagem (volume) de veículos.

A Tabela 1 ilustra os resultados obtidos.

Link	Model-generated vehicle counts	Observed vehicle counts	Difference
1,5	237	235	2
5,2	165	162	3
5,1	223	223	0
2,5	454	458	-4
5,3	310	306	4
3,5	256	260	-4
5,4	429	437	-8
4,5	179	175	4

Como medidas de desempenho do tráfego foram selecionados três parâmetros: número de paradas/veículo, atraso médio/veículo e velocidade média do veículo na rede viária.

Além das conclusões específicas do estudo, outras foram destacadas:

- A simulação por computador pode ser efetivamente utilizada pelo engenheiro de tráfego para se obter respostas práticas para os problemas de fluxo de veículos;
- A simulação de tráfego tem condições de ser uma ferramenta viável para investigações de estratégias de controle e operação de tráfego.

Figura 5 – Medidas comparativas de eficiência para as cinco alternativas

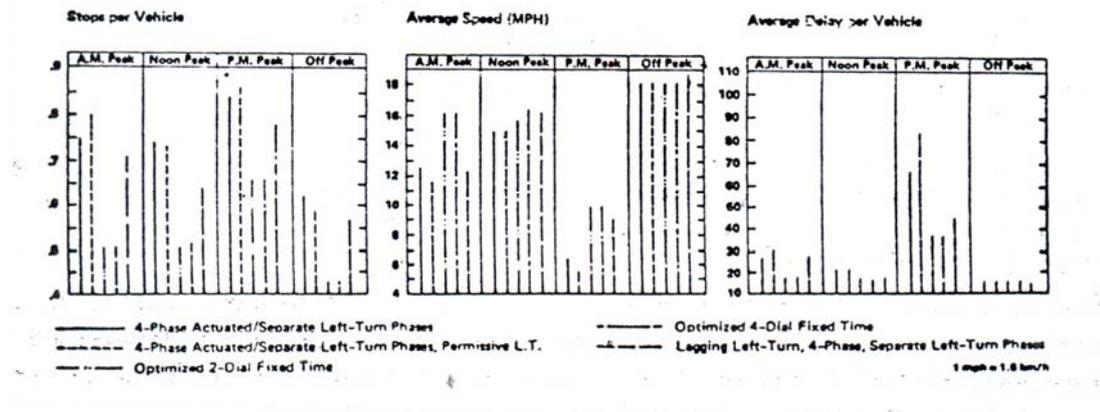


Tabela 2 – Resultados da simulação do problema

Signal phasing	Measure of efficiency	Time period ¹				Averages
		A.M. peak	Noon peak	Offpeak	P.M. peak	
4-phase traffic actuated with separate leading left turn phase	Stops per vehicle	0.71	0.73	0.64	0.85	0.74
		0.79	0.75	0.59	0.84	
	Average speed (mph)	13.53	14.85	18.16	6.29	
		11.68	14.90	18.35	6.59	
	Average delay per vehicle (in seconds)	24.35	21.63	15.36	68.42	
Total delay (in minutes)	30.65	21.48	14.88	65.12	32.74	
		445.5	337.8	77.3	1,426.5	
		566.9	335.9	74.9	1,347.9	576.6
4-phase traffic actuated with left turn permitted during through and separate leading left turn phases	Stops per vehicle	0.80	0.73	0.59	0.88	0.74
		0.79	0.73	0.58	0.84	
	Average speed (mph)	11.95	15.02	18.29	4.44	
		11.62	14.91	18.51	6.52	
	Average delay per vehicle (in seconds)	30.05	21.19	15.06	101.06	
Total delay (in minutes)	30.91	21.46	14.80	65.09	37.45	
		560.4	331.0	76.0	2,125.5	
		573.8	335.8	75.0	1,335.3	676.6
4-phase traffic actuated with left turn permitted during through and separate lagging turn phases	Stops per vehicle	0.70	0.64	0.59	0.76	0.68
		0.72	0.65	0.55	0.80	
	Average speed (mph)	12.03	16.36	18.62	10.51	
		12.59	15.98	18.92	7.74	
	Average delay per vehicle (in seconds)	29.40	18.42	14.61	35.91	
Total delay (in minutes)	27.34	19.08	14.00	53.81	26.57	
		544.0	288.0	73.8	767.9	
		505.7	297.9	70.7	1,166.7	464.3
2-dial 2-phase fixed-time	Stops per vehicle	0.50	0.51	0.41	0.62	0.53
		0.52	0.52	0.44	0.69	
	Average speed (mph)	16.24	16.46	18.06	9.83	
		16.20	16.62	17.85	10.20	
	Average delay per vehicle (in seconds)	18.50	18.08	15.22	38.88	
Total delay (in minutes)	18.64	17.93	15.54	36.81	22.45	
		346.0	283.9	77.4	834.5	
		348.2	280.7	78.8	789.6	379.9
4-dial 2-phase fixed-time	Stops per vehicle	0.52	0.51	0.41	0.64	0.52
		0.52	0.53	0.44	0.64	
	Average speed (mph)	16.24	16.69	18.06	9.84	
		16.20	16.52	17.85	10.31	
	Average delay per vehicle (in seconds)	18.50	17.67	15.22	38.84	
Total delay (in minutes)	18.64	18.01	15.54	36.27	22.34	
		346.0	257.7	77.4	835.7	
		348.2	281.6	78.8	779.2	375.6
Averages	Stops per vehicle	0.65	0.63	0.52	0.76	0.64
	Average speed (mph)	13.83	15.83	18.27	8.53	14.1
	Average delay per vehicle (in seconds)	24.7	19.50	15.02	54.02	28.3
	Total delay (in minutes)	458.5	303.0	76.0	1,140.9	494.6

¹Two runs were made during each time period. The values for both runs are given

J mph = 1.6 km/h

Proposta de Aplicação em São Paulo

A utilização de modelos de simulação de tráfego tem apresentado resultados promissores, e surge como novo elemento de auxílio para as decisões do engenheiro de tráfego.

Em particular, os testes e estudos realizados com o programa Netsim resultaram em experiências positivas, e atualmente um número crescente de órgãos e departamentos estaduais de tráfego nos Estados Unidos tem se utilizado desses recursos.

As características da cidade de São Paulo e sua diversidade de problemas de tráfego exigem adoções de medidas dos mais variados graus de complexidade.

Na proposição e implantação de soluções para minimizar esses problemas, a CET já atingiu um estágio de desenvolvimento técnico bastante elevado, dispondo inclusive de recursos materiais e humanos capazes de assimilar novas e mais avançadas tecnologias. Assim, parece ser oportuno considerar a hipótese de utilização do Netsim como ferramenta para estudo e avaliação de projetos de engenharia de tráfego.

Para tanto, a área de Sistema de Controle já implantou o programa da Prodam, e vem desenvolvendo estudos e aplicações piloto que permitirão decidir sobre a viabilidade de utilização do programa Netsim em São Paulo.

Eng.º Eduardo Antonio Moraes Munhoz
Chefe do Departamento A - SCO