

Determinação do nível de conforto adaptativo em transporte público baseado em lógica nebulosa dependente do tempo

Bruno Pimentel Machado, André Riyuiti Hirakawa, José Sidnei Colombo Martini

Abstract — Transportation is a key issue in metropolitan areas. Several studies focus on different aspects related to mobility in cities, since the steering assistance solutions to studies that seek the best way to assess the level of satisfaction of users on public transportation. An aspect rarely mentioned in studies is related to the level of comfort in public transportation, and how it can influence the selection of best transportation mean. By its dynamic and subjective properties, traditional solutions of selecting best route do not have the best results. This work proposes an adaptive solution based on fuzzy logic with dependence on time. Tests were conducted to evaluate the proposal and the results suggest a higher quality in the decision making process.

Keywords — Adaptive Solution, Fuzzy Logic, Time-Dependent

Resumo — Transporte é um assunto chave em áreas metropolitanas. Vários estudos focam em diferentes aspectos associados à mobilidade nas cidades, desde soluções de assistência a direção até estudos que buscam a melhor forma de avaliar o nível de satisfação de usuários em transporte público. Um aspecto pouco mencionado nos estudos está relacionado ao nível de conforto em transporte público, e como ele pode influenciar na seleção de melhor meio de transporte. Por suas propriedades dinâmicas e subjetivas, as soluções tradicionais de seleção de melhor rota não apresentam os melhores resultados. Este trabalho propõe uma solução adaptativa baseada em lógica nebulosa com dependência no tempo. Testes foram conduzidos para avaliar a proposta e os resultados sugerem uma maior qualidade no processo de tomada de decisão.

Palavras-Chave — Adaptatividade, Lógica Nebulosa, Dependência do Tempo

I. INTRODUÇÃO

Transporte é um assunto chave em áreas metropolitanas. Vários estudos focam em diferentes aspectos associados à mobilidade nas cidades, desde soluções de assistência a direção até estudos que buscam a melhor forma de avaliar o nível de satisfação de usuários em transporte público [1][2][3][4][6][7][11][12][13]. Um aspecto pouco mencionado nos estudos está relacionado ao nível de conforto em transporte público, e como ele pode influenciar na seleção de melhor meio de transporte. Por suas propriedades dinâmicas e subjetivas, as soluções tradicionais de seleção de melhor rota não apresentam os melhores resultados.

Este estudo apresentará uma forma de avaliar o nível de conforto no ponto de vista do usuário, e assim suportar uma decisão de melhor caminho. Um algoritmo baseado em números nebulosos com dependência do tempo será aplicado para a determinação do conforto. A dependência do tempo permite uma adaptação contínua da avaliação dos resultados e eventual mudança de rumo.

Os critérios que fazem um usuário escolher um ônibus ao invés de outro estão relacionados ao que o usuário entende por melhor opção, o que incorpora dentre outros temas o tempo de viagem, seu custo, o nível de conforto, disponibilidade e outros. A todos estes elementos, podemos associar o conceito de Satisfação do Cliente, que em diversos estudos aparece com definições distintas [1][2][3][4][6].

II. CONFORTO

Ainda que, Cantwell e Caulfield [1], Eboli e Mazzulla [2], Kostakis e Pandelis [3], Karlsson e Larsson [4] e Yeh, Deng e Chang [6] concordem que conforto é uma variável importante na composição da satisfação do cliente, eles não possuem o mesmo entendimento do que o define.

Em [6], conforto foi associado ao nível de serviço oferecido pelas empresas de ônibus e a percepção dos clientes em reação à qualidade deste serviço. Neste estudo, conforto foi desmembrado em vários aspectos (qualidade do ar condicionado, disponibilidade de informação, limpeza). Em [2], o conforto também aparece como um fator importante na definição de satisfação de cliente, no entanto, a definição de seu conceito é diferente. Para Eboli e Mazzulla, conforto depende de questões como odor e barulho enquanto a limpeza aparece como um tópico independente. Karlsson e Larsson entendem conforto usando outros fatores [4].

No ponto de vista filosófico [5], o conforto pode ser definido como um fenômeno complexo que varia de acordo com a experiência individual. Mais do que isso, a percepção de conforto tem um comportamento que degrada ao longo do tempo, e os pesos de cada variável que o definem também mudam [4]. Este comportamento justifica o uso de lógica nebulosa para tratar as incertezas do cenário.

Para este estudo, conforto foi definido como uma coleção de pares de variáveis. Cada par de variáveis é baseada em um atributo e seu grau de importância [2][4][6]. A importância será baseada na percepção do usuário e terá um comportamento dinâmico ao longo do tempo [4]. Mesmo o tempo terá um aspecto subjetivo a seu respeito, sendo classificado no formato de variáveis linguísticas dentro do conceito de lógica nebulosa.

III. LÓGICA NEBULOSA DEPENDENTE DO TEMPO

Lógica nebulosa foi aplicada em diferentes cenários relacionados à modelagem de tráfego. Em [17], a lógica nebulosa foi combinada com algoritmos genéticos para suportar um problema associado a quadro de horários de transporte público. As diferentes rotas de ônibus foram mapeadas de acordo com o tempo de viagem de uma estação a outra, assim como o tempo de espera previsto em cada estação. O algoritmo permitiu estabelecer as melhores janelas de tempo para que o usuário pudesse se deslocar na rede com o tempo adequado.

A lógica nebulosa também foi usada em outros contextos envolvendo dependência de tempo. Em [14] e [15], a lógica foi usada para tomar ações baseados em entradas regulares de dados dentro de uma janela de tempo. A diferença de valores entre uma entrada de dados t_1 e t_n (em que n é maior do que um) representava uma tendência, o que era usado para suportar a tomada de decisão. O robô Nomad 200 [15] foi desenvolvido sobre um conjunto de 140 regras para navegar em um circuito com vários objetos no caminho de forma adequada. O processo de regras assumia uma entrada regular de dados. Ao longo do tempo, cada variável era usada como uma memória e a noção de tendência, gerada por estas memórias, foi usada para tomar decisões de desviar ou não de obstáculos.

Em [7], uma rede nebulosa baseada no tempo foi proposta para definir a rota mais segura que deveria ser usada para chegar a um dado destino. Huang e Ding estabeleceram premissas relacionadas aos horários de saída de cada nó, representando horários de saídas de ônibus de terminais. Se o usuário está no veículo no horário previsto de saída, ele está associado à previsão de chegada daquela viagem específica, caso chegue atrasado, um novo tempo previsto de deslocamento deve ser considerado por se tratar de um ônibus diferente. Os autores comparam a solução de rede nebulosa com algoritmos clássicos (como programação dinâmica e Dijkstra) e obteve um desempenho melhor de processamento.

Em seu trabalho, Huang e Ding consideraram a restrição de tempo como o objetivo a ser cumprido para o deslocamento, porém existem situações em que outros fatores precisam ser considerados. Quando outros fatores envolvem a percepção do usuário, uma preocupação deve ser observada. A opinião de usuários não pode ser (realisticamente) coletada sem que haja uma influência negativa em seu resultado [16]. Como

alternativa, ao invés de recorrentemente questionar o usuário quanto a sua percepção, uma solução de números nebulosos dependentes do tempo, associada ao mapeamento do comportamento padrão da percepção dos usuários, pode ser aplicada para se adaptar e escolher a melhor alternativa dentro da malha.

Variáveis nebulosas são comumente representadas por figuras trapezoidais ou triangulares, como definido na equação (1):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ 1, & b < x < c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x < d \\ 0, & x > d \end{cases} \quad (1)$$

No cenário com dependência no tempo, $\mu_A(x)$ pode não ser o mesmo ao longo do tempo. Seu valor pode sofrer alterações, dessa forma seu valor pode ser mais bem representado pela equação (2):

$$\mu_A(x(t)) = \begin{cases} 0, & x(t) < a(t) \\ \frac{x(t)-a(t)}{b(t)-a(t)}, & a(t) < x(t) \leq b(t) \\ 1, & b(t) < x(t) < c(t) \\ \frac{d(t)-x(t)}{d(t)-c(t)}, & c(t) \leq x(t) < d(t) \\ 0, & x(t) > d(t) \end{cases} \quad (2)$$

Visualmente, o domínio dos números nebulosos resultaria em uma visão 3D como apresentado na Fig 1.

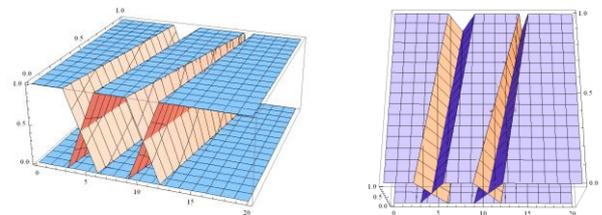


Fig. 1. Visão 3D de números nebulosos

Para determinar o grau de pertinência em um momento específico, o tempo deve ser usado para ‘fatiar’ o domínio no momento adequado, como representado na Fig. 2.

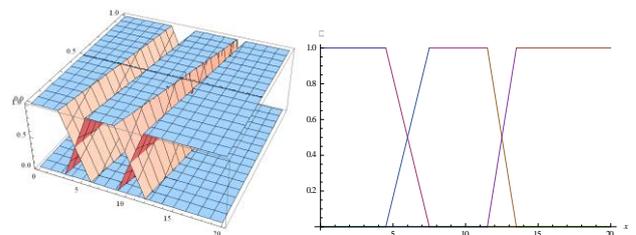


Fig. 2. Representação de corte

O processo de defuzzificação se mantém estático, mas o mapeamento do comportamento permite uma leitura dinâmica do grau de pertinência da variável.

IV. PROPOSTA

Conforto foi definido como uma coleção de variáveis subjetivas, influenciadas pelo tempo e que é usado para suportar a determinação do índice de satisfação do cliente. Mesmo as variáveis discretas estão sujeitas à variação no tempo, como por exemplo, a disponibilidade de assentos (interpretação booleana).

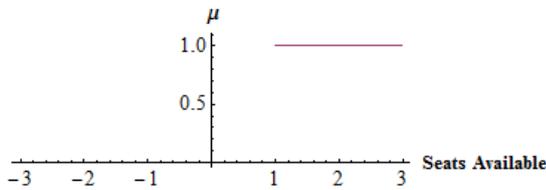


Fig. 3. Representação de Disponibilidade de Assentos

Na figura 3, a disponibilidade de assentos é apresentada em uma representação nebulosa. A partir do momento que há um assento disponível, o grau de pertinência é representado pelo valor 1. No entanto, sua importância poderia variar no tempo [4] de acordo com a função $f(importância) = Importância_{t_0} + \text{Log}(tempo)$, o que resulta na curva apresentada na Figura 4.

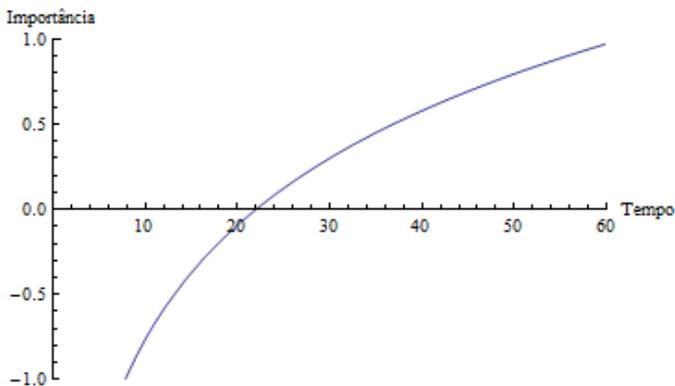


Fig. 4. Variação da importância no tempo

Se a importância for definida como um conjunto nebuloso com três variáveis linguísticas (Não Importante, Importante e Muito Importante), a Importância poderia ser graficamente representada pela Figura 5.

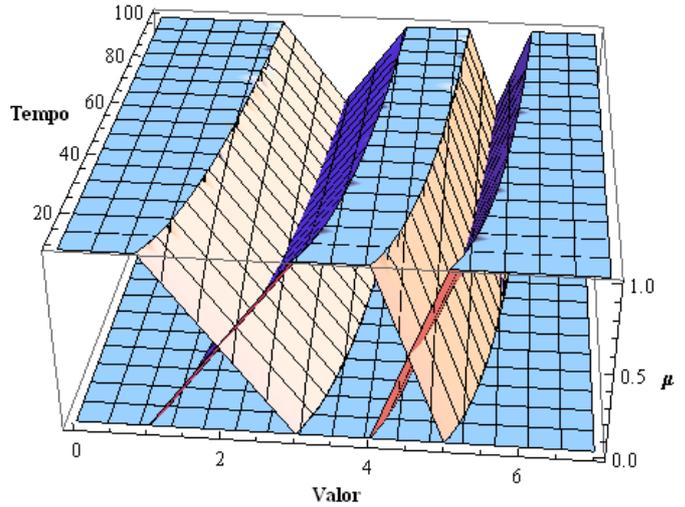


Fig. 5. Conjunto Nebuloso no tempo

A mesma lógica pode ser repetida por todas as variáveis de propriedades similares. Assim sendo, para verificar a proposta, dados foram produzidos e cenários de testes criados.

V. PROVA DE CONCEITO

O índice de conforto foi calculado baseado no índice de satisfação de cliente demonstrado por Eboli e Mazzulla em [2], em que a satisfação de cliente é formada por um conjunto de pares de elementos (variável e peso) e seu índice é dado pela média ponderada de todas as variáveis multiplicadas pelos pesos.

$$Conforto = \sum_{i=0}^n \frac{variável_i * peso_i}{peso_i} \quad (2)$$

O conforto será calculado de forma semelhante como apresentado na equação (2), mas para fins de simplificação, foi definido com apenas duas propriedades de acordo com a Figura 6.

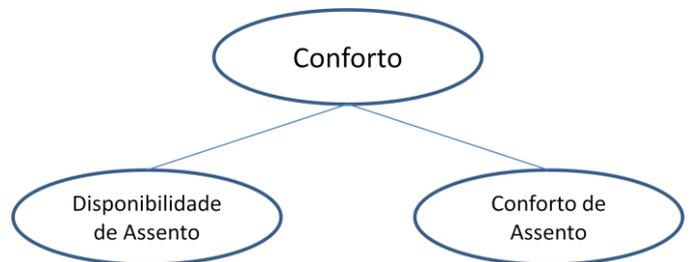


Fig. 6. Definição de Conforto

Ambas as variáveis (disponibilidade de assentos e conforto de assentos) são baseadas em valores e importâncias como apresentado por Karlsson e Larsson [4]. A importância sofre variação no tempo para as duas variáveis. Baseado ainda no trabalho dos autores, tempo foi definido como uma variável

nebulosa com três variáveis linguísticas: curto tempo [0, 14], tempo regular [14, 29] e longo tempo [30, ∞].

Disponibilidade de assentos foi definida como uma variável discreta {verdadeiro, falso} com um grau de importância de quatro níveis {Sem importância (1), Pouca importância (2), Importante (3), Muito importante (4)}. Já o conforto dos assentos foi definido como {Completamente desconfortável (1), Parcialmente desconfortável (2), Parcialmente confortável (3), Completamente Confortável (4)} com a mesma escala de importância definida para a variável de disponibilidade.

Nestas condições, quatro cenários de testes foram validados de acordo com a Tabela I:

Cenário	Condição	Valor
1	Tempo	40,0
	Assento disponível	Sim
	Importância de disponibilidade	1,5
	Assento confortável	2,5
	Importância de conforto assento	0,9
2	Tempo	12,0
	Assento disponível	Sim
	Importância de disponibilidade	3,0
	Assento confortável	0,5
	Importância de conforto assento	2,3
3	Tempo	30,0
	Assento disponível	sim
	Importância de disponibilidade	3,5
	Assento confortável	2,5
	Importância de conforto assento	3,8
4	Tempo	35,0
	Assento disponível	Não
	Importância de disponibilidade	3,0
	Assento confortável	N/A
	Importância de conforto assento	N/A

Tabela I. Lista de Cenários de Teste

A variação da importância foi baseada na rota Orange Express apresentada em [4]. De acordo com o estudo, as importâncias da disponibilidade de assentos e do conforto dos assentos variam com o tempo de maneiras distintas. Viagens mais longas sugerem que a disponibilidade de assentos é mais importante do que o conforto que ele oferece. As diferenças sugerem que para a disponibilidade de assentos, a importância varia em um padrão logarítmico, mas para o conforto de assentos, é uma variação linear.

Com base nestas observações, a importância da disponibilidade foi definida pela equação (3):

$$f(t) = (\log_{22}(t) - 1) * 3 \quad (3)$$

Já para a importância do conforto dos assentos a equação (4) utilizada foi definida por:

$$f(t) = \frac{t}{40} - 0.55 \quad (4)$$

Vale ressaltar que mapear o comportamento não é uma atividade trivial. As funções adotadas são simplificações do comportamento destas variáveis.

Os quatro cenários propostos foram executados para duas condições:

- Lógica Nebulosa com dependência de tempo (LNDT)
- Lógica Nebulosa Tradicional sem variação no tempo (LNT)

O número nebuloso *conforto* foi calculado com base nas regras presentes na Tabela II. Foi definido um valor inicial para o índice no valor de 100. O valor inicial é usado como uma referência para permitir a comparação entre os processos, uma vez que se assume que há sempre uma degradação dos indicadores.

Regra	Descrição	Redução de Conforto
1	Assento não disponível	80
	Disponibilidade importante	
2	Assento não disponível	90
	Disponibilidade muito importante	
3	Assento disponível	10
	Disponibilidade importante	
4	Assento disponível	20
	Disponibilidade muito importante	
5	Assento desconfortável	65
	Conforto importante	
6	Assento desconfortável	75
	Conforto muito importante	
7	Assento aceitável	30
	Conforto importante	
8	Assento aceitável	30
	Conforto muito importante	

Tabela II. Regras de Defuzzificação

VI. RESULTADOS

Os dados de testes propostos tinham objetivos de validar diferentes condições do cotidiano. No primeiro cenário, os dados representam uma viagem longa em que há assentos disponíveis e o conforto destes assentos é de baixa importância para o usuário. O resultado aponta níveis altos de conforto. Na Figura 8, é possível observar que com o passar do tempo, a percepção de conforto diminui. Isto se dá, pois os graus de importância das variáveis disponibilidade e conforto de assento crescem e influencia o processo de defuzzificação.

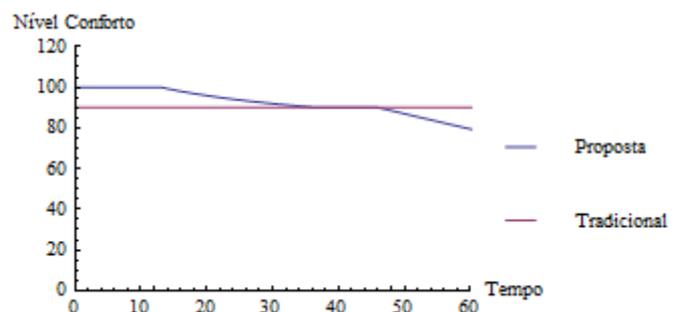


Fig. 8. Cenário de teste 1

No segundo cenário, uma viagem curta é executada em um ônibus com assentos desconfortáveis. Neste cenário o conforto dos assentos é mais importante e com o passar do tempo, a percepção de conforto se degrada rapidamente como apresentado na Figura 9.

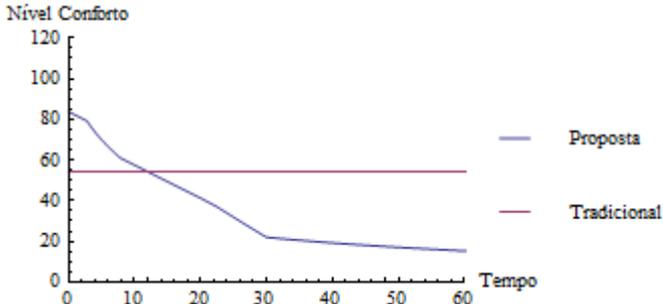


Fig. 9. Cenário de teste 2

O terceiro cenário representado pela Figura 10 reflete um cenário em que os graus de importância e a variável de conforto de assentos estão em condições médias. Os resultados são próximos, uma vez que, para as condições médias, a Tabela II de defuzzificação não tem grandes implicações.

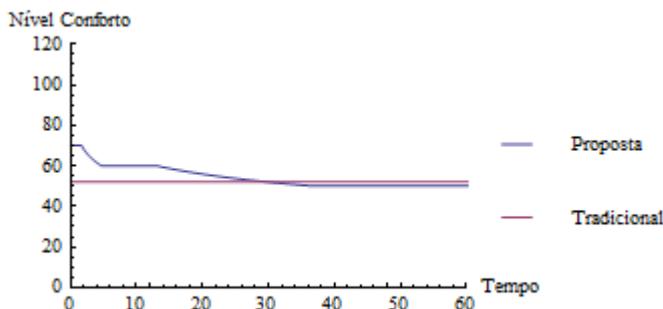


Fig. 10. Cenário de Teste 3

Por fim, o quarto cenário verificou o comportamento da avaliação de conforto em uma viagem de longa duração sem assentos disponíveis, como apresentado na Figura 11.

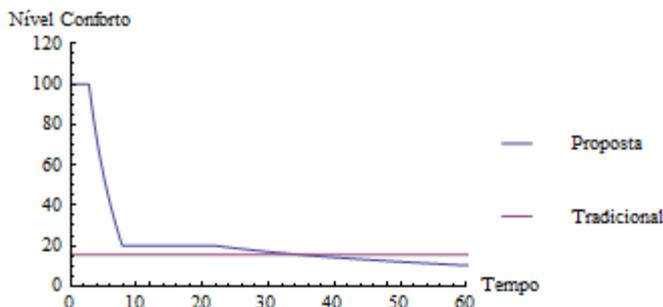


Fig. 11. Cenário de Teste 4

A forma de cálculo com dependência no tempo permite uma maior qualidade na avaliação da percepção de conforto de usuários. Os mesmos resultados poderiam ser obtidos se um conjunto extenso de regras de inferência e defuzzificação

fossem aplicados. Com o mapeamento do comportamento, é possível obter resultados com um conjunto pequeno com oito regras.

VII. ADAPTATIVIDADE

A prova de conceito apresentada sugere que os resultados utilizando a proposta de Lógica Nebulosa dependente do tempo são melhores do que a alternativa em que o tempo é desconsiderado. No entanto, o resultado está diretamente relacionado à capacidade de representar adequadamente as funções que representam o conforto.

O conforto por sua vez, está sujeito a variações com base em experiências anteriores, meio em que o indivíduo está inserido, expectativas e outros fatores.

Uma representação válida pode ser observada na Figura 7, em que cada viagem é vista como um ciclo de um controle de malha fechada.



Fig. 07. Representação de viagem em malha fechada

Entende-se por esta representação que os dados do meio de transporte, assim como a opinião do usuário quanto à qualidade da viagem, podem influenciar os parâmetros que suportam a indicação do meio de transporte. Ou seja, os valores que determinam os limites dos graus de pertinência de cada propriedade que define o controle, assim como seus graus de importância, estão em constante ajuste para melhor avaliar as condições de transporte.

Ajustes em graus de pertinência de modelos nebulosos foram propostos em outros cenários, como em [19] em que os autores propõem um deslocamento das curvas que definem as variáveis linguísticas de variáveis nebulosas a partir da realimentação de saída de controles. Há ainda estudos que apontam que é possível ajustar os graus de pertinência, mesmo para os contextos em que há dependência no tempo, como em [20]. Cerrada, Aguilar, Colina e Titli apresentam uma forma de ajustar os parâmetros das definições nebulosas verificando os valores previstos e realizados na linha do tempo. O resultado é uma aproximação do modelo projetado e real, permitindo uma maior previsibilidade nos resultados.

VIII. CONCLUSÃO

Números nebulosos com dependência do tempo é uma boa opção para resolver problemas envolvendo variáveis subjetivas dinâmicas. A comparação entre o modelo tradicional e o modelo com dependência no tempo apresentou

diferenças de resultados que demonstram a capacidade do modelo com dependência de prever a situação em que o sistema se encontrará e assim poder tomar decisões mais assertivas.

A qualidade da solução está diretamente relacionada a capacidade do sistema aprender com cada evento (viagem) executada, definindo assim com maior qualidade os graus de importância de cada fator que definem o conforto.

O trabalho considerou um cenário simples envolvendo apenas dois fatores que compreendem o espectro que define conforto, mas vários estudos indicam que uma gama grande de fatores contribui com sua determinação. Estudos adicionais precisam ser executados para melhor representar o contexto das variáveis, e não só as condições instantâneas que surgem ao longo dos trajetos.

IX. REFERÊNCIAS

- [1] Cantwell M., Caulfield B., O'Mahony M.; "Examining the factors that impact public transport commuting satisfaction", *Journal of Public Transportation*, vol. 12, no. 2, pp. 1–21, 2009.
- [2] Eboli L., Mazzulla G.; "A new customer satisfaction index for evaluating transit service quality", *Journal of Public Transportation*, vol. 12, no. 3, pp. 21–37, 2009.
- [3] Kostakis A., I. Pandelis.; "Measuring the Customer Satisfaction in Public Transportation. An empirical study based in urban buses in the city of Larisa (Greece) The MUSA methodology", *Proceedings of MIBES 2009 (Management of International Business and Economic Systems) Conference*, pp. 260–275, 2009.
- [4] Karlsson J., Larsson E.; "Passengers' Valuation of Quality in Public Transport with Focus on Comfort: A Study of Local and Regional Buses in the City of Gothenburg", *Chalmers University of Technology* 2010.
- [5] Chappells H., Shove E.; "COMFORT: A review of philosophies and paradigms," *University of Lancaster* 2004, pp. 1–37.
- [6] Yeh C.-H., Deng H., Chang Y.-H.; "Fuzzy multicriteria analysis for performance evaluation of bus companies"; *Eur. J. Oper. Res.* vol. 126, 2000.
- [7] W. Huang, L. Ding; "The Shortest Path Problem on a Fuzzy Time-Dependent Network"; *IEEE Transactions on Communications*, vol. 60, no. 11, pp. 3376–3385, Nov. 2012.
- [8] Transport for London, <<http://www.tfl.gov.uk/>>, Accessed on September 04th, 2013.
- [9] New York State Department of Transportation, <<https://www.dot.ny.gov/divisions/policy-and-strategy/public-transportation>>, Accessed on September 04th, 2013.
- [10] CET - Companhia de Engenharia de Tráfego, <<http://www.cetsp.com.br/>>, Accessed on September 04th, 2013.
- [11] Shashua, A., Gdalyahu Y., Hayun G.; "Pedestrian detection for driving assistance systems: single-frame classification and system level performance"; In *Intelligent Vehicles Symposium*, 2004.
- [12] Cherng, S., Fang, C.; "Critical motion detection of nearby moving vehicles in a vision-based driver-assistance system"; *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 10, no. 1, pp. 70–82, 2009.
- [13] Jacob, R., Marathe M., Nagel, K.; "A Computational Study of Routing Algorithms for Realistic Transportation Networks", *ACM Journal of Experimental Algorithms*, 1998
- [14] Barro, S., Bugarín, A. J., Cariñena, P., Díaz-Hermida, F., Mucientes, M.; "Fuzzy Temporal rule-based systems: new challenges"; *XIV Congreso Español sobre Tecnologías y Lógica Fuzzy*, pp. 17–19, 2008.
- [15] Mucientes, M., Iglesias, R., Regueiro, C. V., Bugarín, A., Barro, S.; "A fuzzy temporal rule-based velocity controller for mobile robotics"; *Fuzzy Sets and Systems* vol. 134, pp. 83–99, 2003.
- [16] *The New York Times* - When Businesses Can't Stop Asking, 'How Am I Doing?', <<http://www.nytimes.com/2012/03/17/business/onslaught-of-surveys-is-fraying-customer-patience.html?scp=1&sq=surveys&st=cse&r=0>>, Accessed on September 04th, 2013.
- [17] Tilahun, S. L., Ong, H. C.; "Bus timetabling as a fuzzy multiobjective optimization problem using preference based genetic algorithm"; *Promet Traffic & Transportation*, vol. 24, no. 3, 2012.
- [18] Si, X. S., Hu C. H., Yang J. B.; "A new prediction model based on belief-rule-base for system's behavior prediction"; *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2011.
- [19] Bakri, F.A., Mashor, S. M., Sharun, M. N., Saad, D.; "A Simple Adaptative Fuzzy Logic Controller base on Shifting of the Membership Function"; *2012 IEEE 8th International Colloquium on Signal Processing and its Applications*
- [20] Cerrada, A., Aguilar, J., Colina, E., Titli, A.; "Dynamical membership functions: an approach for adaptative fuzzy modeling"; *Fuzzy Sets and Systems*, 2003