

*O texto a seguir é uma publicação da revista bilingue Uniso Ciência, da Universidade de Sorocaba, para fins de divulgação científica.*

*The following story is part of the bilingual magazine Science @ Uniso, published by the University of Sorocaba, for the purpose of scientific outreach.*

*Acesse aqui a edição completa/  
Follow the link to access  
the full magazine:*



Pesquisadora estuda como aplicar lógica difusa a

## **SISTEMAS ATIVOS DE SUSPENSÃO AUTOMOTIVA**

Researcher studies how to apply fuzzy logic to

## **ACTIVE AUTOMOTIVE SUSPENSION SYSTEMS**

**Por/By: Guilherme Profeta  
Foto/Photo: Paulo Ribeiro**



A pesquisadora Neusa Valentim da Silva, no Laboratório de Automação da Uniso  
Researcher Neusa Valentim da Silva, at Uniso's Automation Laboratory



Se você for aficionado(a) por carros, é possível que já tenha visto um comercial clássico da Volkswagen em que três pessoas desmontam um Fusca em menos de um minuto. O narrador brinca com uma dúvida que talvez você já tenha tido: com quantas partes se faz um carro? Naturalmente, a resposta vai mudar bastante de acordo com o período histórico e o modelo, mas, dentre todos esses inúmeros componentes, qual o mais importante? Para a engenheira Neusa Valentim da Silva, que acumula mais de uma década de atuação profissional na indústria de componentes automotivos, há um conjunto de partes em especial que certamente está entre os mais importantes num veículo automotor — e você, motorista, concordará com ela cada vez que precisar encarar uma estrada esburacada —: a suspensão automotiva.

Ela explica: a suspensão é o sistema responsável por isolar os passageiros e a carga, protegendo-os das vibrações causadas pelas irregularidades do piso. “Um bom sistema de suspensão automotiva deve apresentar uma boa resposta no contato com a pista, ao mesmo tempo em que deve fornecer conforto aos ocupantes do veículo enquanto se percorre um trajeto acidentado. Quando o veículo recebe qualquer distúrbio proveniente da pista — buracos, fissuras, degraus ou lombadas —, ele não deve apresentar oscilações drásticas, e essas oscilações devem se dissipar rapidamente”, diz Silva. Em sua dissertação de mestrado, defendida no Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba (Uniso) e orientada pelo professor doutor Waldemar Bonventi Júnior, ela tratou justamente desse assunto.

As suspensões automotivas podem variar de passiva a ativa, passando pelas semiativas. Silva explica que as suspensões passivas são sistemas mecânicos simples, formados por molas e amortecedores não controlados fixados entre a estrutura de suporte da roda e o corpo do veículo, funcionando mecanicamente em paralelo. A constante da mola e os valores dos coeficientes de amortecimento são fixos (conforme aplicação), o que significa que é somente a condição de irregularidades da estrada, ao agir sobre o sistema de molas do veículo, que vai determinar a reação do amortecedor e das rodas. No caso da suspensão

If you are a car aficionado, you may have already watched a classic Volkswagen commercial where three people disassemble a Beetle in less than a minute. The narrator then asks a question you may have had yourself: how many parts does it take to make a car? Naturally, the answer will change a lot according to the historical period and the car model, but out of all these numerous components, which one is the most important? According to the engineer Neusa Valentim da Silva, who accumulates more than a decade of professional experience in the automotive components industry, there is a particular set of parts that is certainly one of the most important in a motor vehicle—and you, the driver, will probably agree with her every single time you have to drive on a bumpy road—: the automotive suspension.

She explains: the suspension is the system responsible for isolating passengers and cargo, protecting them from vibrations caused by irregularities on the ground. “A good automotive suspension system should respond well in contact with the road while providing comfort to the occupants as the vehicle travels on a bumpy surface. When the vehicle faces any disturbance on the road—holes, cracks, steps, or bumps—it should not go through drastic oscillations, and these oscillations should dissipate quickly,” Silva says. She addressed this subject in her Master’s thesis, defended at Uniso’s graduate program in Technological and Environmental Processes, advised by professor Waldemar Bonventi Júnior.

Automotive suspensions can range from passive to active, including semi-active. Silva explains that passive suspensions are simple mechanical systems consisting of uncontrolled springs and shock absorbers, fixed between the support structure of the wheel and the vehicle body, functioning mechanically in parallel. The spring constant and the damping ratio are fixed values, which means that it is only the condition of irregularities on the road, upon acting on the



Com quantas partes se faz um carro?

How many parts does it take to make a car?

semiativa, o leiaute mecânico é idêntico, com apenas um coeficiente de amortecimento variável e uma constante de mola sem fontes de força ativa. Também não há sensores recebendo sinais de estímulo da via para o controle da movimentação das rodas para cima ou para baixo, a não ser a ação mecânica das molas, o que, para a automação, caracteriza esse sistema como um sistema de malha aberta. Essa situação muda quando o veículo é equipado com um sistema de suspensão ativa (para a automação, com controle de malha fechada), que é vinculado a um computador de bordo, o qual está constantemente recebendo dados sobre a pista e também sobre o próprio carro, por meio de sensores.

vehicle’s spring system, that will determine the reaction of the damper and the wheels. In the case of semi-active suspension, the mechanical layout is identical, relying on a variable damping ratio, and on a spring constant with no active power sources. There are also no sensors receiving signals from the road to control wheel movement up or down, besides the mechanical action of the springs, which in automation would characterize this system as an open loop system. This situation changes when the vehicle is equipped with an active suspension system (a closed loop control system), which is linked to an onboard computer



“Uma suspensão ativa inclui um atuador (hidráulico, pneumático, eletromagnético ou híbrido) que pode fornecer força ativa, de modo a compensar os deslocamentos e as vibrações da via. A força a ser aplicada é regulada por um algoritmo de controle usando dados de sensores conectados ao veículo. Esses controladores convencionais controlam um sistema massa-mola-amortecedor, ou seja, a mola suporta a carga estática da massa suspensa e o atuador de força fornece a força reativa necessária para minimizar ou absorver a deformação causada por irregularidades na estrada. Logo a decisão se dá sobre o sistema como um todo”, diz a pesquisadora.

Nesse caso, os parâmetros não são fixos, como num sistema puramente mecânico, o que significa que o computador de bordo precisa “decidir” como o veículo irá reagir de acordo com cada situação — e tão rapidamente quanto for possível. Se tudo estiver funcionando apropriadamente, o sistema tem a capacidade de movimentar o chassi verticalmente de acordo com a necessidade, corrigindo o impacto das irregularidades da via sobre os passageiros dentro do veículo, o que significa ganhos em conforto e segurança. Segundo a pesquisadora, esses devem ser os focos das pesquisas que buscam novas alternativas para as suspensões automotivas.

#### PENSANDO COMO UM SER HUMANO

O que Silva propôs em sua pesquisa de mestrado foi a aplicação de um conceito que é conhecido como **LÓGICA DIFUSA** (ou *fuzzy logic*, em inglês) nesse tipo de controle ativo. Trata-se de uma técnica que tenta incorporar em sistemas automatizados de controle a forma humana de se pensar. A partir da introdução desse conceito, que originalmente data de meados da década de 1960, espera-se que a lógica de raciocínio das máquinas se torne mais dedutiva.

“A lógica difusa lida com a incerteza na engenharia, atribuindo graus de certeza às respostas a uma pergunta lógica. Ela não é a solução para todos os problemas técnicos, mas pode ser a resposta para problemas de controle em que a simplicidade e a velocidade de implementação são importantes, como é o caso de um sistema de suspensão automotiva”, explica Silva.

that constantly receives data from sensors, about the road and the car itself.

“An active suspension includes an actuator (that can be hydraulic, pneumatic, electromagnetic, or hybrid) which provides active force to compensate for displacement and vibration. The force to be applied is regulated by a control algorithm using data from sensors connected to the vehicle. These conventional controllers control a mass-spring-damper system, meaning the spring supports the static load of the suspended mass, and the actuator provides the reactive force in order to minimize or absorb deformation caused by irregularities on the road. Therefore, decision-making considers the system as a whole”, the researcher says.

In this case, parameters are not fixed, as in a purely mechanical system, which means that the computer needs to “decide” how the vehicle will react to each situation—as quickly as possible. If everything is working properly, the system is able to move the chassis vertically as needed, correcting the impact of road irregularities on passengers inside the vehicle, which means gains in comfort and safety. According to the researcher, these should be the focus of research seeking new alternatives to automotive suspensions.

#### THINKING LIKE A HUMAN BEING

In her thesis, Silva proposed that a concept known as **FUZZY LOGIC** could be applied to this kind of active control. It is a technique that attempts to incorporate the human way of thinking into control systems. The concept dates from the mid-1960s, and it is supposed to make the reasoning logic of machines more deductive.

“Fuzzy logic deals with uncertainty in engineering by assigning degrees of certainty to the answers to a logical question. It is not the solution to all technical problems, but it may be the answer to control issues in which simplicity

#### PARA SABER MAIS: O QUE É A LÓGICA DIFUSA?

Antes da implementação da lógica difusa, sistemas automatizados trabalhavam de forma puramente binária: 0 era igual a “falso” e 1 era igual a “verdadeiro”. Podia-se perguntar a uma máquina numa linha de montagem, por exemplo, se uma peça era boa ou não, e elas seriam consideradas 100% boas ou 100% ruins. O problema é que nem tudo pode ser compreendido a partir dessa lógica binária; uma peça pode ser 99% boa e, ainda assim, ser aceitável. Um ser humano perceberia isso, mas uma máquina não, e é aí que entra a lógica difusa, compreendendo um continuum de valores entre 0 e 1 (ou entre 0% e 100%).

#### TO KNOW BETTER: WHAT IS FUZZY LOGIC?

Before the implementation of the fuzzy logic, automated systems worked in a purely binary way: 0 was equal to “false”, and 1 was equal to “true.” One could ask a machine on an assembly line, for example, whether a car part was good or not, and they would be considered 100% good or 100% bad. The problem is that not everything can be understood according to this binary logic; a given car part can be 99% good and still be acceptable. A human being would be able to notice this, but a machine would not, and this is where fuzzy logic comes in, comprising a continuum of values between 0 and 1 (or between 0% and 100%).

Em sua pesquisa, ela conduziu uma série de simulações em computador, com o intuito de comparar os sistemas convencionais (PD) de controle aos sistemas *fuzzy*, buscando obter ao menos respostas análogas. Seus resultados indicam que os controladores difusos, que recentemente têm tido sucesso nas aplicações em

and speed are important, such as in an automotive suspension system,” Silva explains.

In her research, she ran a series of computer simulations to compare conventional control systems to fuzzy systems, seeking at least analogous responses. Her results indicate that

## Em simulação, o controlador *fuzzy* reduz o tempo de acomodação de 40 para 2 segundos

diversos sistemas complexos (como, por exemplo, no controle de vazão e em freios do tipo ABS), podem ser utilizados, também, em sistemas de suspensão automotiva.

## In a simulation, the fuzzy controller reduces accommodation time from 40 to 2 seconds

fuzzy controllers, which have recently been successfully applied in many complex systems (such as flow control, and ABS brakes), can also be used in automotive suspension systems.



Na simulação, Silva considerou o sistema massa-mola-amortecedor de uma roda de ônibus, começando por um sistema simples e aumentando a complexidade gradativamente. “O distúrbio proveniente da pista foi simulado por meio de uma função degrau, que pode representar um buraco ou uma descontinuidade brusca no pavimento. No gráfico da resposta do sistema sem nenhum controle, percebe-se claramente que o sistema é subamortecido, dadas as várias oscilações que ele apresenta antes de se acomodar. Ocupantes desse veículo hipotético sentiriam um grande desconforto devido ao enorme tempo de acomodação dessa suspensão, de aproximadamente 40 segundos. Com a inclusão do controlador, o tempo de acomodação cai para 2 segundos”, resume a pesquisadora.

“Por fim, em relação ao controlador *fuzzy*, o ajuste realizado se mostrou satisfatório, com desempenho comparável ao controlador convencional (PD)”, ela conclui, destacando que a grande vantagem desse tipo de controle está na rapidez da resposta obtida — um fator essencial num campo em que cada milésimo de segundo tem o potencial de fazer toda a diferença.

In the simulation, Silva considered the mass-spring-damper system of a bus wheel, starting with a simple system and gradually increasing complexity. “The disturbance from the road was simulated by a step, which can represent a hole or a sudden discontinuity in the pavement. In the graph of system response without any control, it is clear that shocks are not fully absorbed, given oscillations it presents before settling. Occupants of this hypothetical vehicle would experience great discomfort due to the lengthy accommodation time of this suspension, which would take approximately 40 seconds. By including the controller, the accommodation time drops to 2 seconds,” the researcher summarizes.

“After all, when it comes to the fuzzy controller, the adjustment was satisfactory, since its performance was comparable to the one of the conventional controller,” she concludes, emphasizing that the great advantage of this type of control is the response speed—an essential factor in a field where every thousandth of a second has the potential to make all the difference.

---

Com base na dissertação “Controle de suspensão ativa automotiva por lógica difusa (*“fuzzy logic”*)”, do Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba (Uniso), com orientação do professor doutor Waldemar Bonventi Júnior e aprovada em 16 de novembro de 2017.

**Acesse o texto completo da pesquisa em português:**

**Follow the link to access the full text of the original research (in Portuguese):**



Pica-pau-do-campo (*Colaptes campestris*)