

# Revisão do trabalho de investigação

## *Virtual Sensing and Privacy & Ethical Concerns*

<sup>1</sup> Universidade do Minho, Escola de Engenharia

<sup>2</sup> Mestrado em Engenharia Informática

<sup>3</sup> Sensorização e Ambiente

**Note:** This document has an english version at the end of the Portuguese version (scroll to page 7).

**Resumo:** Nesta análise ao trabalho “*Virtual Sensing and Privacy & Ethical Concerns*” será feita uma travessia pelo conteúdo de todas as partes (secções e subsecções) que compõem o trabalho realizado. Serão apontados aspectos positivos e aspectos passíveis de melhoria em cada uma delas. Em seguida, serão abordados aspectos mais relacionados com o modo como o trabalho foi elaborado e estruturado. No final, será apresentado um comentário do trabalho na sua generalidade.

## 1 Análise ao conteúdo do trabalho

### 1.1 *Abstract*

O *abstract* deste trabalho é bastante conciso, fornecendo uma visão geral do conteúdo do documento. No entanto, considero que podiam tentar detalhar um pouco mais sobre a estrutura do documento. Para além disso, seria vantajoso incluir uma breve referência às conclusões alcançadas.

Desta forma, o abstract proporcionaria aos leitores uma compreensão preliminar mais completa do trabalho de investigação antes de começarem a analisar o conteúdo.

### 1.2 Introdução

A introdução oferece uma visão relativamente abrangente sobre a presença dos sensores actualmente, destacando a sua relevância numa vasta gama de aplicações, desde aparelhos pessoais até sistemas de maior escala. Ao mencionar a inevitabilidade dessa tecnologia no nosso dia a dia, o texto ressalta a sua importância, evidenciada pelo facto de estarmos constantemente expostos à influência desses equipamentos. No entanto, para uma compreensão mais completa do tema, seria proveitoso fornecer uma definição mais precisa do que são os sensores e a sua funcionalidade específica. Para além disso, podiam apresentar alguns casos concretos da sua utilização para fornecer uma melhor contextualização.

Esta clarificação inicial não apenas contextualizaria o restante do trabalho, mas também enriqueceria a compreensão do leitor sobre os conceitos que serão abordados.

### 1.3 Sensores virtuais

Esta secção inicia essencialmente com a definição dos conceitos de sensor físico e sensor virtual.

A definição de sensor físico é clara e de fácil compreensão. Embora não seja muito aprofundada, não irei considerar como uma lacuna, dado que o foco do trabalho está nos sensores virtuais.

Por outro lado, a definição de sensor virtual é mais pormenorizada. O início da explicação é bastante elucidativo, permitindo uma compreensão clara do que é um sensor virtual (estes simulam, através de *software*, o comportamento de sensores físicos perante um determinado *asset*, que é o objecto a ser monitorizado). No entanto, surgem conceitos que não são devidamente esclarecidos, como: a *data*

*function*, que apenas se menciona que a sua complexidade varia, podendo consistir numa repetição do sinal original sem modificações ou incluir outros ajustes (a sua definição não é clara); o *data twin*, que tem como objectivo assegurar a validade dos dados, a informação contextual e o estabelecimento das interfaces para a partilha bidirecional com o mundo real (também não é adequadamente explicado).

Em suma, embora a explicação inicial do conceito de sensor virtual seja clara, a introdução de conceitos adicionais carece de uma explicação mais clara e explícita.

### 1.3.1 Tipos de sensores virtuais

Esta subsecção apresenta uma qualidade notável, embora o seu conteúdo possa ser percebido como contraditório em relação ao seu título, uma vez que se refere que os sensores virtuais não possuem tipificação. Não obstante, a elaboração do conteúdo revela-se robusta e as explicações oferecidas são de fácil compreensão. A figura utilizada complementa eficazmente o teor da informação apresentada.

Sugiro apenas uma revisão do título desta subsecção. O título atual implica a apresentação de tipos de sensores virtuais, quando na realidade o foco desta subsecção reside primordialmente na descrição do seu funcionamento.

### 1.3.2 Físicos vs Virtuais

Tal como a subsecção anterior, o título não corresponde totalmente ao seu conteúdo. Esta subsecção inicia com uma breve diferenciação entre sensores físicos e sensores virtuais. Após isso, aborda com muito mais detalhe e ênfase as vantagens e desvantagens da utilização de sensores virtuais. Eu sugeriria a mudança de título para “*Advantages and Disadvantages of virtual sensors*”.

Relativamente às vantagens e desvantagens, todas as que foram apresentadas revelam-se relevantes e os argumentos utilizados para as justificar também são relativamente convincentes. O único aspecto que apontaria é o facto desta secção não ter qualquer suporte bibliográfico.

### 1.3.3 Limitações

Esta subsecção destaca algumas limitações dos sensores virtuais relacionadas à previsibilidade em condições desconhecidas, complexidade na criação, dificuldades e na padronização e disponibilidade dos dados. As limitações apontadas estão bem explicadas bem como a justificação de cada uma.

Relativamente a aspectos menos positivos, eu diria as desvantagens dos pontos 1 e 4 são muito parecidas e talvez até possam ser a mesma. O outro ponto é que não existe suporte bibliográfico nesta secção.

### 1.3.4 Aplicação dos sensores virtuais

Esta subsecção começa com uma breve análise sobre o crescimento da utilização dos sensores virtuais, seguida de uma exposição dos sectores onde estes são utilizados.

Relativamente à parte em que se aborda a indústria automóvel, o conteúdo, embora ligeiramente vago, apresenta-se de forma clara e acessível. Contudo, seria benéfico aprofundar a discussão sobre a aplicação actual dos sensores neste sector. Considero que seria proveitoso destacar as tecnologias de sensores presentes nos veículos, especialmente no que concerne à segurança, dada a sua elevada importância. Quanto ao estudo mencionado, só é referido que o mesmo propõe a utilização de sensores para monitorizar o estado do motor dos veículos, ajudando a diagnosticar potenciais problemas. O estudo é abordado de forma muito superficial.

A parte onde é abordada a indústria agrícola começa por referir vagamente como os sensores virtuais podem recolher alguns dados relevantes para este sector. Em seguida, é apontado um estudo onde se utilizam sensores e IA para otimizar o processo agrícola com o objectivo de aumentar a produtividade

e reduzir custos. Tal como o estudo anterior, este foi abordado de forma muito vaga. Podiam ter sido abordados alguns detalhes relevantes como o modelo de IA utilizado, que dados é que os sensores recolhem e como é que esses dados são utilizados para aumentar a produtividade.

No que diz respeito à parte onde se abordam os cuidados de saúde, a mesma começa por referir que os sensores virtuais são essenciais para melhorar os sistemas de saúde e que esses sensores podem “medir certos tipos de medições” com maior precisão. Relativamente ao primeiro artigo abordado, a sua referência é desnecessária já que só é indicado que o mesmo aborda alguns casos de estudo sobre a utilização de sensores na saúde. Seria adequado indicar quais os casos de estudo que o artigo aborda. Quanto ao segundo artigo, aquilo que se pode dizer é muito semelhante ao que se disse no primeiro. No caso do segundo, podiam ter referido quais os avanços e melhorias relativamente ao *healthcare* 4.0.

Relativamente à parte onde abordam o sector do fabrico, a mesma inicia com a menção à importância desta tecnologia neste sector e com dois exemplos relevantes da utilização de sensores (contagem de artigos produzidos e percentagem de produtos defeituosos). Relativamente ao primeiro artigo, apesar de não ser apresentado de forma muito aprofundada, já permite ter, em relação aos anteriores, uma melhor visão geral do que trata (é abordado o que foi feito pelos autores e quais os seus objectivos). O segundo artigo, se for realmente semelhante ao anterior, também não está mal apresentado já que foram fornecidos alguns detalhes relevantes, como os algoritmos de aprendizagem utilizados. Quando dizem que o segundo artigo é semelhante ao anterior, parte-se do princípio que aquilo que foi feito e os objectivos dos autores sejam semelhantes.

A parte onde são abordadas as cidades inteligentes começa por referir o que são as cidades inteligentes e alguns exemplos dos seus sectores nos quais podem ser aplicadas tecnologias de sensores. No que diz respeito ao primeiro estudo, é dito que o mesmo tem como objectivo demonstrar como os sensores virtuais são benéficos para as cidades inteligentes, destacando as principais vantagens que têm sobre os sensores físicos. No entanto, não é explicado como é que esse artigo afirma todas essas vantagens e benefícios. Quando ao segundo estudo, apenas é dito que é semelhante ao primeiro, não havendo qualquer detalhe mencionado. Finalmente, o terceiro estudo é abordado de forma muito vaga, indicando apenas que consiste numa “Sensor cloud architecture” para monitorização ambiental.

No que diz respeito à parte onde se aborda o sector da construção, esta começa por abordar o facto de que os sensores virtuais não têm muitas aplicações nesse sector. No entanto, aponta potenciais benefícios da sua utilização na construção. Relativamente ao primeiro estudo, gostei dos aspectos apontados como potenciais vantagens da utilização de sensores virtuais em edifícios. Contudo, gostaria de ter visto como é que os autores do estudo chegaram a essas conclusões. Para além disso, eu diria que, pelo que li, este estudo não se enquadra muito na área da construção, pois parece apontar funcionalidades que são utilizadas num edifício quando este já está construído. Quanto ao segundo estudo, demonstram uma pequena aplicação de sensores em edifícios. A apresentação não está muito detalhada, mas é explicitado o contexto da utilização dos sensores e alguns dos resultados obtidos, pelo que não considero uma má apresentação do estudo.

De um modo geral, pode-se dizer que esta subsecção tem uma abrangência muito vasta em termos de aplicações de tecnologias de sensores virtuais. No entanto, acabou por ser um ligeiro problema devido ao facto de que impediu que houvesse detalhe na explicação de cada uma dessas aplicações. A sugestão de alteração seria abordar com mais detalhe as aplicações mais relevantes, como as cidades inteligentes e cuidados de saúde e apontar as restantes como outras possíveis aplicações além dessas.

### 1.3.5 Aplicações industriais dos sensores virtuais com inteligência artificial

Esta subsecção fornece uma análise concisa e informativa sobre várias aplicações industriais que incorporam sensores virtuais com inteligência artificial (IA). Destaca-se a diversidade de setores mencionados, incluindo bebidas, automóveis e baterias, o que demonstra a ampla gama de aplicações desta tecnologia. Além disso, as descrições breves das aplicações proporcionam uma leitura acessível. O único aspecto a apontar é que são usados alguns termos técnicos pouco conhecidos e isso pode dificultar a compreensão. No entanto, se o objectivo desta subsecção é ser de carácter introdutório e informativo, a maneira como está feita é adequada.

## 1.4 Sensores virtuais com IA e concepção baseada em modelos

### 1.4.1 Utilizar a IA para conceber e implementar algoritmos incorporados

Esta subsecção começa por abordar como as abordagens tradicionais de criar algoritmos podem não ser adequadas para todas as situações, podendo ser substituídas por abordagens mais modernas como os algoritmos de *embedded AI*. Em seguida, apresenta-se uma listagem de funcionalidades onde esses algoritmos podem ser aplicados.

Esta subsecção não está muito aprofundada, mas aparenta ser a introdução da subsecção que lhe segue. Por esse motivo, pode-se considerar que esta secção foi elaborada de forma adequada.

### 1.4.2 Criar um sensor virtual com IA: Estimativa do estado de carga da bateria

Esta subsecção começa por introduzir as baterias de íões de lítio e os sistemas de gestão de baterias (BMS), nomeadamente a sua tarefa de estimar o estado da carga (SoC). Em seguida, é referido o facto de que é impossível implantar sensores físicos nessas baterias, sendo posteriormente apontado um conjunto de características destes sensores que dificultam a sua utilização. Para este problema, os sensores virtuais com IA são apontados como uma possível solução, em que a explicação é complementada com uma figura que apresenta o excelente desempenho de um sensor virtual que utiliza uma rede neuronal recorrente (LSTM) para prever as emissões de NOX. Esta primeira parte desta subsecção apresenta um conteúdo bem elaborado e adequado em que é demonstrado de forma relativamente simples o potencial dos sensores virtuais no contexto das baterias. O único aspecto a apontar é o facto da figura não se adequar ao contexto, uma vez que se refere a um modelo que não foi utilizado no contexto das baterias.

A parte seguinte desta subsecção começa a abordar uma técnica (EKF) que utiliza modelos puramente matemáticos para estimar o SoC. É indicada a excelência desta técnica no que diz respeito à sua precisão, mas também são apontados aspectos que põem em causa a sua viabilidade, tais como: exigência computacional e a sua sensibilidade a estados iniciais ou modelo errados. Estes argumentos são utilizados para fortalecer a tese de que é mais adequado utilizar sensores virtuais com algoritmos de inteligência artificial, uma vez que generaliza melhor que a técnica EFK. Esta parte foi bem elaborada e os argumentos apresentados foram bem fundamentados.

Em seguida, abordam a contagem de Coulomb para obter valores de SoC. Começam por referir o facto desse método ser apelativo para medir o SoC por ser computacionalmente económico. No entanto, explicam que o método tem uma elevada sensibilidade a erros de medição da corrente quando essa medição não é feita num laboratório dedicado para o efeito. Com esses argumentos, justificam que esse método é mais adequado para a obtenção de dados para treinar modelos de IA. Apesar de não ser explicado como funciona a técnica de contagem de Coulomb, esta parte está bastante bem feita, permitindo ao leitor perceber como são obtidos os dados para treinar os modelos para os sensores virtuais utilizados nas baterias.

Relativamente à parte em que se abordam as opções para criar e integrar modelos de IA, não há muito a dizer. Abordam vagamente como algumas *frameworks* podem ser utilizadas para criar esses modelos. Não está mal feita, mas não acho que acrescente muito a esta subsecção.

No que diz respeito à nota sobre obtenção de dados, achei pertinente a referência ao facto de que os dados serem partilhados podem ajudar os investigadores a comparar e a melhorar os modelos de IA. De facto, se uma grande quantidade de investigadores tiver acesso ao mesmo conjunto de dados, certamente que será mais fácil encontrar bons modelos e melhorias que se possam aplicar. Também considero importante referirem o facto de que um bom modelo de IA vale o elevado investimento inicial na obtenção de dados de qualidade ainda que essa obtenção seja cara e morosa.

Em seguida, é apresentado um conjunto de ferramentas para testar modelos de IA e é apresentado um exemplo onde são utilizados diversos modelos (EFK, *Fine regression tree*, DL-FFN, DL-LSTM) e explicam sucintamente o funcionamento de cada um deles. Posteriormente, explicam como se deve

realizar os testes e comparações entre eles, através das ferramentas Simulink/JuliaSim. Esta parte apresenta uma boa visão geral das práticas a ser tomadas nos testes de modelos de IA.

De um modo geral esta subsecção está muito bem conseguida. Demonstra com muito detalhe e com uma ordem lógica os procedimentos para o desenvolvimento de sensores virtuais com IA.

### 1.5 Futuro dos sensores virtuais

Esta subsecção aborda o tema do futuro dos sensores virtuais de forma abrangente, fornecendo uma visão geral do seu potencial e das suas aplicações em diversas áreas, como cidades inteligentes, setor automóvel e cuidados de saúde. É mencionada a crescente importância da inteligência artificial na evolução dos sensores virtuais, destacando a sua adaptabilidade e capacidade de personalização.

Além disso, é apresentado um exemplo específico de uma empresa, a Fyma, que está a desenvolver melhorias nos sensores virtuais, utilizando técnicas de visão computacional para analisar espaços públicos.

Considero que esta subsecção é pertinente neste trabalho e apresenta um bom conteúdo. No entanto, a análise poderia ser mais aprofundada ao discutir questões específicas relacionadas com potenciais desafios inerentes às tecnologias de sensores virtuais e como esses desafios podem impactar as perspectivas futuras. Apesar de terem sido apontadas limitações anteriormente, seria interessante ver uma análise do seu impacto no futuro destas tecnologias.

### 1.6 Preocupações com ética e privacidade

Esta subsecção aborda questões éticas e de privacidade relacionadas com a recolha de informação pessoal através de medições com sensores. Começa por contextualizar a importância destas questões, destacando a relevância da aplicação dos sensores em diversos contextos, como ambientes de trabalho, máquinas ou indivíduos.

Considero que a referência ao RGPD e a explicação acerca de como os participantes em estudos têm de consentir a utilização dos seus dados são bastante relevantes.

De um modo geral, esta subsecção está bem feita e não tenho aspectos a apontar.

### 1.7 Conclusão e análise crítica

A conclusão apresentada no trabalho aborda a utilidade das tecnologias dos sensores virtuais em diversos campos de pesquisa. Para além disso, destaca um ponto importante: a complexidade dos sensores virtuais, que depende de diversos factores e pode tornar sua implementação difícil nalguns casos. Essa é uma observação válida, pois reconhece que, embora essas tecnologias sejam úteis em muitos cenários, elas não são uma solução universal e podem encontrar desafios na prática.

Por fim, a conclusão ressalta a importância de considerar questões éticas relacionadas à privacidade e ao uso responsável das tecnologias. Isso reflete uma preocupação legítima e relevante, especialmente num mundo como aquele em que vivemos agora.

No geral, a análise crítica apresentada na conclusão do trabalho é bem fundamentada e aborda aspectos importantes a serem considerados no desenvolvimento e na implementação de tecnologias de sensores virtuais.

## 2 Elaboração do trabalho

Este trabalho tem uma boa organização do conteúdo no que diz respeito aos tópicos seleccionados, à sua divisão e à sua ordem.

Notou-se o esforço do grupo em dar ao leitor uma base sólida para compreender a secção sobre a criação de um sensor virtual (3.2).

Não tenho aspectos ou sugestões de melhoria no que diz respeito à estrutura e organização do conteúdo deste trabalho.

### **3 Comentário final**

Pode-se dizer que este trabalho foi bem elaborado, com conteúdo cuidadosamente seleccionado e uma organização cuidada. É de destacar a abrangência que este trabalho tem na abrangência de temas.

No entanto, nalgumas partes notou-se alguma carência de detalhe. Todavia, não impediu que o balanço deste trabalho seja bastante positivo.

# Research assignment review

## Virtual Sensing and Privacy & Ethical Concerns

<sup>1</sup> University of Minho, School of Engineering

<sup>2</sup> Master in Informatics Engineering

<sup>3</sup> Sensorization and Environment

**Summary:** In this review to the assignment “Virtual Sensing and Privacy & Ethical Concern”, every single part (sections and subsections) of the work content will be addressed. We’ll highlight both positive aspects and areas for improvement. Then, we’ll discuss aspects related to the structure of the work. In the end, an overall comment will be provided.

## 1 Assignment content review

### 1.1 Abstract

The abstract of this work is quite concise, providing an overview of the document’s content. However, I think it could try to go into a little more detail about the structure of the document. In addition, it would be beneficial to include a brief reference to the conclusions reached.

In this way, the abstract would provide readers with a more complete preliminary understanding of the research work before they start analyzing the content.

### 1.2 Introduction

The introduction provides a relatively comprehensive overview of the presence of sensors today, highlighting their relevance in a wide range of applications, from personal devices to larger-scale systems. By mentioning the inevitability of this technology in our daily lives, the text highlights its importance, evidenced by the fact that we are constantly exposed to the influence of this equipment. However, for a more complete understanding of the topic, it would be useful to provide a more precise definition of what sensors are and their specific functionality. In addition, they could present some concrete cases of their use to provide a better context.

This initial clarification would not only provide context for the rest of the work, but would also enrich the reader’s understanding of the concepts that will be covered.

### 1.3 Virtual Sensors

This section essentially begins by defining the concepts of physical sensor and virtual sensor.

The definition of a physical sensor is clear and easy to understand. Although it’s not very in-depth, I won’t consider it a shortcoming, since the focus of the work is on virtual sensors.

On the other hand, the definition of a virtual sensor is more detailed. The beginning of the explanation is quite enlightening, allowing a clear understanding of what a virtual sensor is (these simulate, through software, the behavior of physical sensors when faced with a given asset, which is the object to be monitored). However, there are concepts that are not properly clarified, such as: the data function, which only mentions that its complexity varies, and may consist of a repetition of the original signal without modifications or include other adjustments (its definition is unclear); the data twin, which aims to ensure the validity of the data, contextual information and the establishment of interfaces for bidirectional sharing with the real world (also not adequately explained).

In short, although the initial explanation of the virtual sensor concept is clear, the introduction of additional concepts needs a clearer and more explicit explanation.

### 1.3.1 Types of Virtual Sensors

This subsection is of outstanding quality, although its content could be perceived as contradictory in relation to its title, since it states that virtual sensors are not typified. Nevertheless, the content is robust and the explanations offered are easy to understand. The figure used effectively complements the content of the information presented.

I would only suggest revising the title of this subsection. The current title implies the presentation of types of virtual sensors, when in reality the focus of this subsection is primarily on describing how they work.

### 1.3.2 Physical vs Virtual

As with the previous subsection, the title does not fully match the content. This subsection begins with a brief differentiation between physical sensors and virtual sensors. After that, it goes into much more detail and emphasis on the advantages and disadvantages of using virtual sensors. I would suggest changing the title to “*Advantages and Disadvantages of virtual sensors*”.

As far as the advantages and disadvantages are concerned, all those presented are relevant and the arguments used to justify them are also relatively convincing. The only point I would make is that this section has no bibliographic support.

### 1.3.3 Limitations

This subsection highlights some limitations of virtual sensors related to predictability in unknown conditions, complexity in creation, difficulties and the standardization and availability of data. The limitations pointed out are well explained, as is the justification for each one.

With regard to less positive aspects, I would say that the disadvantages of points 1 and 4 are very similar and may even be the same. The other point is that there is no bibliographic support for this section.

### 1.3.4 Virtual sensors applicability

This subsection begins with a brief analysis of the growth in the use of virtual sensors, followed by an overview of the sectors in which they are used.

Regarding the section on the automotive industry, the content, although slightly vague, is presented in a clear and accessible manner. However, it would be beneficial to further discuss the current application of sensors in this sector. I think it would be useful to highlight the sensor technologies present in vehicles, especially with regard to safety, given their high importance. As for the study mentioned, it only mentions that it proposes the use of sensors to monitor the state of a vehicle’s engine, helping to diagnose potential problems. The study is covered in a very superficial way.

The section on the agricultural industry begins by vaguely mentioning how virtual sensors can collect some relevant data for this sector. It then goes on to mention a study using sensors and AI to optimize the agricultural process with the aim of increasing productivity and reducing costs. Like the previous study, this one is very vague. Some relevant details could have been covered, such as the AI model used, what data the sensors collect and how this data is used to increase productivity.

As far as the section on healthcare is concerned, it begins by stating that virtual sensors are essential for improving healthcare systems and that these sensors can “measure certain types of measurements” with greater precision. With regard to the first article discussed, its reference is unnecessary as it only states that it discusses some case studies on the use of sensors in healthcare. It would be appropriate to indicate which case studies the article covers. As for the second article, what can be said is very similar to what was said in the first. In the case of the second article, they could have mentioned the advances and improvements in relation to *healthcare 4.0*.



As for the section on the manufacturing sector, it begins by mentioning the importance of this technology in this sector and with two relevant examples of the use of sensors (counting items produced and the percentage of defective products). With regard to the first article, although it is not presented in great depth, it already gives a better overview than the previous ones (it discusses what the authors have done and what their objectives are). The second article, if it really is similar to the previous one, is not badly presented either, since some relevant details have been provided, such as the learning algorithms used. When they say that the second article is similar to the previous one, it is assumed that what was done and the authors' objectives are similar.

The section on smart cities begins by mentioning what smart cities are and some examples of their sectors in which sensor technologies can be applied. With regard to the first study, it is stated that it aims to demonstrate how virtual sensors are beneficial for smart cities, highlighting the main advantages they have over physical sensors. However, it is not explained how the article states all these advantages and benefits. As for the second study, it is only said that it is similar to the first, with no details mentioned. Finally, the third study is covered very vaguely, stating only that it consists of a "Sensor cloud architecture" for environmental monitoring.

As far as the section on the building sector is concerned, it begins by addressing the fact that virtual sensors don't have many applications in that sector. However, it points out the potential benefits of using them in building. Regarding the first study, I liked the aspects pointed out as potential advantages of using virtual sensors in buildings. However, I would have liked to have seen how the authors of the study came to these conclusions. Furthermore, I would say that, from what I've read, this study doesn't really fit into the building area, as it seems to point to functionalities that are used in a building when it's already built. As for the second study, it shows a small application of sensors in buildings. The presentation isn't very detailed, but the context in which the sensors were used and some of the results obtained are explained, so I don't consider it a bad presentation of the study.

Overall, it can be said that this subsection has a very broad scope in terms of applications of virtual sensor technologies. However, it has turned out to be a slight problem due to the fact that it has prevented detail in the explanation of each of these applications. A suggested change would be to go into more detail about the most relevant applications, such as smart cities and healthcare, and point out the rest as possible applications in addition to these.

### 1.3.5 Industrial applications using AI Virtual Sensors

This subsection provides a concise and informative analysis of various industrial applications that incorporate virtual sensors with artificial intelligence (AI). It highlights the diversity of sectors mentioned, including beverages, automobiles and batteries, which demonstrates the wide range of applications for this technology. In addition, the brief descriptions of the applications make for accessible reading. The only thing to note is that some unfamiliar technical terms are used and this can make it difficult to understand. However, if the aim of this subsection is to be introductory and informative, the way it is done is adequate.

## 1.4 Virtual Sensors with AI and Model-Based Design

### 1.4.1 Using AI to Design and Deploy Embedded Algorithms

This subsection begins by addressing how traditional approaches to creating algorithms may not be suitable for all situations, and can be replaced by more modern approaches such as *embedded AI* algorithms. This is followed by a list of functionalities where these algorithms can be applied.

This subsection is not very in-depth, but it appears to be the introduction to the subsection that follows it. For this reason, it can be considered that this section has been adequately prepared.

#### 1.4.2 Create an AI Virtual Sensor: Battery State-of-Charge Estimation

This subsection begins by introducing lithium-ion batteries and battery management systems (BMS), specifically their task of estimating the state of charge (SoC). It goes on to mention the fact that it is impossible to implant physical sensors in these batteries, and then points out a number of characteristics of these sensors that make them difficult to use. For this problem, virtual sensors with AI are pointed out as a possible solution, where the explanation is complemented with a figure showing the excellent performance of a virtual sensor that uses a recurrent neural network (LSTM) to predict NOX emissions. This first part of this subsection presents a well-developed and appropriate content in which the potential of virtual sensors in the context of batteries is demonstrated in a relatively simple way. The only thing to point out is that the figure is not appropriate for the context, as it refers to a model that has not been used in the context of batteries.

The next part of this subsection begins by discussing a technique (EKF) that uses purely mathematical models to estimate the SoC. The excellence of this technique in terms of its accuracy is indicated, but aspects that call into question its viability are also pointed out, such as: computational demands and its sensitivity to wrong initial states or models. These arguments are used to strengthen the thesis that it is more appropriate to use virtual sensors with artificial intelligence algorithms, since it generalizes better than the EKF technique. This part was well written and the arguments presented were well-founded.

Next, they discuss Coulomb counting to obtain SoC values. They begin by pointing out that this method is appealing for measuring SoC because it is computationally inexpensive. However, they explain that the method is highly sensitive to current measurement errors when the measurement is not made in a dedicated laboratory. With these arguments, they justify that this method is more suitable for obtaining data to train AI models. Although it is not explained how the Coulomb counting technique works, this part is very well done, allowing the reader to understand how the data is obtained to train the models for the virtual sensors used in the batteries.

As for the part that discusses options for creating and integrating AI models, there isn't much to say. It vaguely addresses how some *frameworks* can be used to create these models. It's not badly done, but I don't think it adds much to this subsection.

With regard to the note on obtaining data, I found it pertinent to refer to the fact that sharing data can help researchers compare and improve AI models. In fact, if a large number of researchers have access to the same set of data, it will certainly be easier to find good models and improvements that can be applied. I also think it's important to mention the fact that a good AI model is worth the high initial investment in obtaining quality data, even if it's expensive and time-consuming to do so.

Next, a set of tools for testing AI models is presented, along with an example in which various models are used (EKF, *Fine regression tree*, DL-FFN, DL-LSTM) and a brief explanation of how each one works. They then explain how to carry out tests and comparisons between them, using the Simulink/JuliaSim tools. This part provides a good overview of the practices to be followed when testing AI models.

In general, this subsection is very well done. It demonstrates the procedures for developing virtual sensors with AI in great detail and in a logical order.

### 1.5 Future of Virtual Sensors

This subsection addresses the topic of the future of virtual sensors in a comprehensive manner, providing an overview of their potential and their applications in various areas, such as smart cities, the automotive sector and healthcare. The growing importance of artificial intelligence in the evolution of virtual sensors is mentioned, highlighting their adaptability and capacity for personalization.

In addition, a specific example is given of a company, Fyma, which is developing improvements to virtual sensors, using computer vision techniques to analyze public spaces.

I consider this subsection to be pertinent in this work and to have good content. However, the analysis could be taken further by discussing specific issues related to potential challenges inherent in

virtual sensor technologies and how these challenges may impact future prospects. Although limitations were pointed out earlier, it would be interesting to see an analysis of their impact on the future of these technologies.

### **1.6 Privacy & Ethical Concerns**

This subsection addresses ethical and privacy issues related to the collection of personal information through sensor measurements. It begins by contextualizing the importance of these issues, highlighting the relevance of the application of sensors in various contexts, such as work environments, machines or individuals.

I think the reference to the GDPR and the explanation of how participants in studies have to consent to the use of their data are very relevant.

Overall, this subsection is well done and I have no points to make.

### **1.7 Conclusion and Critical Analysis**

The conclusion presented in the paper addresses the usefulness of virtual sensor technologies in various fields of research. It also highlights an important point: the complexity of virtual sensors, which depends on various factors and can make their implementation difficult in some cases. This is a valid observation, as it recognizes that although these technologies are useful in many scenarios, they are not a universal solution and may encounter challenges in practice.

Finally, the conclusion highlights the importance of considering ethical issues related to privacy and the responsible use of technologies. This reflects a legitimate and relevant concern, especially in a world like the one we live in now.

Overall, the critical analysis presented in the paper's conclusion is well-founded and addresses important aspects to be considered in the development and implementation of virtual sensor technologies.

## **2 Assignment structure**

This work has a good organization of the content in terms of the topics selected, their division and their order.

The group's effort to give the reader a solid basis for understanding the section on creating a virtual sensor (3.2) has been noted.

I have no aspects or suggestions for improvement with regard to the structure and organization of the content of this work.

## **3 Overall comment**

It can be said that this work has been well prepared, with carefully selected content and careful organization. It is worth highlighting the comprehensiveness of the topics covered in this work.

However, some parts lacked detail. However, this has not prevented the balance of this work from being very positive.