

DOCUMENTATIERAPPORT

onderdeel van de BACHELORPROEF

ML.NET research binnen een WMS

machine learning mogelijkheden met ML.NET

Bachelor	Toegepaste Informatica
Keuzetraject Afstudeerrichting	Software Engineer / Cyber Security / ICT & Blockchain Artificiële Intelligentie
Academiejaar	2023 - 2024
Student	Vanmarcke Aaron
Interne begeleider	Van Eeckhout Guy
Externe promotor	Michiel De Geeter

Toelating tot bruikleen

De auteur(s) geeft (geven) de toelating dit documentatierapport (onderdeel van de bachelorproef)voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van dit rapport te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de bepalingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit dit rapport.

12/05/2024

Woord vooraf

In het woord vooraf staan de gebruikelijke dankbetuigingen. Alle personen worden bedankt die meegewerkt hebben met het eindwerk.

De personen die de belangrijkste bijdrage hebben geleverd, worden als eerste bedankt. Schrijf de naam, functie en titel van personen correct.

Vermeld onderaan je naam, plaats en datum (facultatief). Een handtekening past hier niet.

Doordat het woord vooraf sterk persoonlijk is, wordt het vaak in de ik-vorm geschreven.

Inhoudsopgave

Woord vooraf

1	Inleiding.....	5
1.1	Algemeen	Error! Bookmark not defined.
1.2	Probleemstelling	Error! Bookmark not defined.
1.3	Onderzoeksvraag	Error! Bookmark not defined.
1.4	Experiment	Error! Bookmark not defined.
2	Experiment	7
3	Conclusie.....	10
	AI Engineering Prompts.....	13
	Referentielijst	14
	Bijlagen	17

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Warehouse Management Systemen (WMS) vormen een essentiële schakel in moderne logistieke operaties, waarbij ze voorraadbeheer, orderafhandeling en magazijnprocessen optimaliseren. Echter, met de toenemende complexiteit van supply chains, worden traditionele WMS-oplossingen geconfronteerd met uitdagingen die kunnen resulteren in inefficiënties en suboptimale besluitvorming. Deze bachelor thesis onderzoekt het potentieel van ML.NET, een krachtig machine learning-framework voor .NET-ontwikkelaars, om deze uitdagingen aan te pakken en warehouse management te transformeren. Geïnspireerd door mijn stage bij C&W Logistics, richt dit onderzoek zich op de integratie van ML.NET in WMS-systemen om operationele efficiëntie te verbeteren, voorraadbeheer te optimaliseren en besluitvormingsprocessen te versterken.

Moderne magazijnen worden geconfronteerd met een scala aan uitdagingen, waaronder stijgende klantverwachtingen, fluctuerende vraagpatronen en de noodzaak van real-time inzichten voor voorraadbeheer en orderafhandeling. Traditionele WMS-oplossingen schieten vaak tekort om deze uitdagingen effectief aan te pakken, resulterend in inefficiënties en suboptimale besluitvorming. Dit onderzoek onderzoekt de mogelijkheden en uitdagingen van het integreren van ML.NET in WMS-systemen, met als doel operationele efficiëntie en besluitvormingsprocessen te verbeteren.

1.2 Probleemstelling

De kernproblematiek die we in deze thesis behandelen is de noodzaak om WMS-systemen te moderniseren en te optimaliseren in het licht van toenemende complexiteit in supply chains. Traditionele WMS-oplossingen kampen met beperkingen in flexibiliteit, schaalbaarheid en analytische mogelijkheden. Dit resulteert in inefficiënties, suboptimale beslissingen en suboptimale prestaties.

1.3 Onderzoeksvraag

In deze thesis beantwoorden we de volgende onderzoeksvraag:

Hoe kan ML.NET worden toegepast in WMS-systemen om operationele efficiëntie, voorraadbeheer en besluitvormingsprocessen te verbeteren?

1.4 Experiment

Om onze onderzoeksvraag te beantwoorden, zullen we een experimentele aanpak volgen die bestaat uit de volgende stappen:

1. Literatuuronderzoek: We bestuderen bestaand onderzoek over ML-toepassingen in WMS-systemen om de huidige stand van zaken te begrijpen en potentiële toepassingsgebieden te identificeren.
2. Ontwikkeling van een ML.NET-model: We ontwikkelen een ML.NET-model dat is afgestemd op een specifiek WMS-scenario, zoals warehouse optimalisatie van voorraadbeheer.
3. Evaluatie van het model: We evalueren de prestaties van het ML.NET-model door middel van experimenten en simulaties.
4. Analyse van de resultaten: We analyseren de resultaten van de evaluatie om de effectiviteit van het ML.NET-model te beoordelen en de potentiële impact ervan op WMS-systemen te bepalen.

2 Experiment

In dit deel van je bachelorproef, beschrijf je je experiment. Of anders geformuleerd, hoe heb je kennis vergaard om je TEDTalk/eindpresentatie te geven.

Dit is de body van je rapport, hier maak jij het verschil t.o.v. bestaande literatuur. Zorg ook dat duidelijk is wat je zelf gemaakt/toegevoegd hebt t.o.v. bestaand materiaal.

Zorg dat volgende zaken zeker aan bod komen doorheen de verschillende onderdelen:

- de werkwijze
- gemotiveerde keuzes van technologie/software/procedure etc.,
- resultaten,
- kritische analyse van de resultaten.

Bovenstaande items zijn **geen** letterlijke hoofdstukken maar moeten verweven zitten doorheen de body van je documentatierapport.

Maak voldoende gebruik van figuren en visualisaties (vergeet hierbij citaties niet). Zorg voor een mooi samenhangend geheel, met duidelijke structuur en een vlotte leesbaarheid. Heb geen schrik om hiervoor gebruik te maken van AI tools. Vergeet wel niet om je AI prompts achteraan in dit rapport mee op te nemen.

Teveel details die de aandacht zouden afleiden van het verhaal van je documentatierapport, dienen naar een bijlage te verdwijnen. (Bv. installatieprocedure, stukken code.)

Werkwijze:

Voor dit experiment hebben we een iteratieve aanpak gehanteerd, waarbij we verschillende fasen doorliepen om ML.NET te integreren in een op maat gemaakt Warehouse Management System (WMS) en een Product Voorraad Predictor te ontwikkelen. De belangrijkste stappen omvatten:

1. Literatuuronderzoek en Case Studies:

- Grondige analyse van bestaande case studies en wetenschappelijke literatuur over de integratie van AI en ML in WMS-systemen, evenals de ontwikkeling van voorraadvoorspellingsmodellen.

2. Data Verzameling en Preprocessing:

- Verzameling van relevante gegevenssets van een bedrijf om een Product Voorraad Predictor te trainen. Dit omvatte informatie over historische verkoopgegevens, seizoensgebonden trends, productkenmerken en andere relevante factoren.
- Preprocessing van de verzamelde gegevens, inclusief het opschonen van onjuiste of ontbrekende waarden, normalisatie en het identificeren van belangrijke kenmerken.

3. Modelselectie en Ontwikkeling:

- Evaluatie van verschillende ML-modellen binnen ML.NET voor zowel het WMS als de Product Voorraad Predictor, zoals neurale netwerken, decision trees en regressiealgoritmen.
- Ontwikkeling van aangepaste modellen en algoritmen voor specifieke taken, zoals dynamische locatietoewijzing van producten in het WMS en tijdreeksvoorspellingsmodellen voor de Product Voorraad Predictor.

4. Implementatie en Integratie:

- Integratie van ML.NET-functionaliteiten in het WMS-systeem, waaronder voorraadoptimalisatie en magazijnindelingsoptimalisatie .

(een pallet komt binnen en word automatisch door ML op de juist plek geplaatst/ toont de verwijzing, naar waar die moet komen)

- Ontwikkeling van een gebruiksvriendelijke interface voor het WMS, waardoor gebruikers gemakkelijk toegang hebben tot ML-gestuurde beslissingen en aanbevelingen.
- Implementatie van de Product Voorraad Predictor als een afzonderlijke module, geïntegreerd met het bestaande WMS om real-time voorraadniveaus en voorspellingen weer te geven.

Gemotiveerde Keuzes:

- **ML.NET:** We kozen voor ML.NET vanwege zijn naadloze integratie met het .NET-ecosysteem en de krachtige functionaliteiten die het biedt voor machine learning-taken.
- **Gebruik van Bedrijfsgegevens:** Het gebruik van echte bedrijfsgegevens voor de Product Voorraad Predictor stelde ons in staat om modellen te trainen die specifiek waren afgestemd op de behoeften en patronen van het bedrijf, waardoor nauwkeurigere voorspellingen mogelijk waren.

Resultaten:

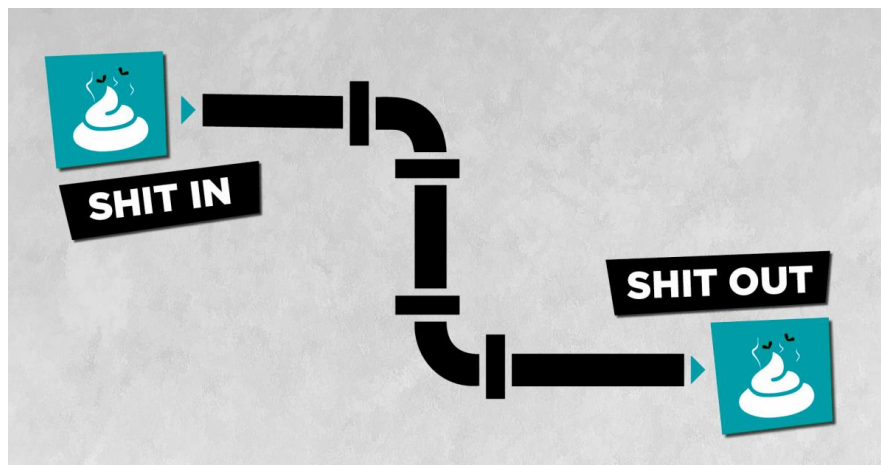
De implementatie van ML.NET in het WMS en de ontwikkeling van de Product Voorraad Predictor hebben significante resultaten opgeleverd, waaronder:

- Verbeterde operationele efficiëntie in het magazijn door dynamische locatietoewijzing en orderpickingoptimalisatie.
- Optimalisatie van voorraadniveaus en vermindering van overschotten en tekorten dankzij de voorspellende capaciteiten van de Product Voorraad Predictor. (NAAR ARTIKELS VERWIJZEN)

Kritische Analyse:

Hoewel de resultaten positief zijn, zijn er enkele kritische overwegingen die moeten worden aangepakt:

- **Datakwaliteit en -consistentie:** Het succes van de ML-modellen is sterk afhankelijk van de kwaliteit en consistentie van de gebruikte gegevens. Het is essentieel om ervoor te zorgen dat de gegevens vrij zijn van ruis en vertekeningen.
- **Acceptatie en Training:** Het succesvol implementeren van ML-functionaliteiten vereist niet alleen technische expertise, maar ook acceptatie en training van het personeel om de nieuwe systemen effectief te gebruiken.
- **Doorlopende Evaluatie en Verbetering:** ML-modellen moeten regelmatig worden geëvalueerd en verbeterd om rekening te houden met veranderende omstandigheden en patronen in de gegevens.



VERWIJZEN NAAR SHIT DATA = SHIT UITKOMST

3 Conclusie

De integratie van ML.NET in WMS biedt een transformerende kans om magazijnactiviteiten te verbeteren, resourcegebruik te optimaliseren en waardevolle inzichten uit data te halen. Ondanks mogelijke uitdagingen zoals data-integratie en modeltraining, zijn de voordelen significant. Dit onderzoek draagt bij aan het begrip van de potentiële voordelen en uitdagingen van het gebruik van ML.NET in een WMS-context, en biedt een basis voor verdere ontwikkelingen en toepassingen in de logistieke industrie.

De integratie van ML.NET in WMS-systemen biedt veel potentieel om de operationele efficiëntie, voorraadbeheer en besluitvormingsprocessen in magazijnen te verbeteren. Enkele belangrijke toepassingen zijn:

1. Voorraadoptimalisatie: ML.NET-algoritmen kunnen historische verkoopgegevens en vraagprognoses analyseren om optimale voorraadniveaus te bepalen en dynamische locatietoewijzing te realiseren.
2. Magazijnindelingsoptimalisatie: ML.NET kan de magazijnindeling en opslagruimtetoe-wijzing optimaliseren op basis van productkenmerken, doorloopstromen en pickfre-quenties.
3. Orderpickingoptimalisatie: ML.NET kan dynamische orderpickingroutes en taaktoewij-zing aan medewerkers optimaliseren voor efficiëntere pickprocessen.
4. Voorspellend onderhoud: ML.NET kan sensordata analyseren om potentiële machine-defecten te voorspellen en onderhoudsschema's te optimaliseren.

Hoewel er enkele uitdagingen zijn rond data-integratie en modeltraining, zijn de voordelen significant. Dit onderzoek biedt inzicht in de potentiële voordelen en uitdagingen van ML.NET-implementatie in WMS-omgevingen en vormt een basis voor verdere ontwikkelingen in de logistieke industrie.

Verdere onderzoek naar de integratie van [ML.NET](#) in een Warehouse Management Systeem (WMS)

Doel van het onderzoek:

- Analyseren van de beste manieren om [ML.NET](#) te integreren in een bestaand WMS-systeem
- Evalueren van de voor- en nadelen van het gebruik van [ML.NET](#) in een WMS-omgeving

Onderzoeksvragen:

1. Welke [ML.NET](#)-modellen en -algoritmen zijn het meest geschikt voor verschillende WMS-use cases zoals voorraadoptimalisatie, magazijnindeling en orderpicking?
2. Hoe kan [ML.NET](#) naadloos worden geïntegreerd in de bestaande WMS-infrastructuur en -workflows?
3. Wat zijn de technische en organisatorische uitdagingen bij het implementeren van [ML.NET](#) in een WMS en hoe kunnen deze worden aangepakt?
4. Wat zijn de meetbare verbeteringen in operationele efficiëntie, kostenbesparingen en klantervaring na de implementatie van [ML.NET](#) in een WMS?
5. Hoe kan [ML.NET](#) de flexibiliteit en schaalbaarheid van het WMS-systeem verbeteren?

Onderzoeksaanpak:

- Literatuuronderzoek naar bestaande toepassingen van [ML.NET](#) in logistiek en supply chain management
- Interviews met experts en professionals in de WMS-industrie
- Ontwikkeling van een proof-of-concept WMS-systeem met geïntegreerde [ML.NET](#)-functionaliteiten
- Uitvoeren van benchmarktests en prestatieanalyses om de voordelen van [ML.NET](#) te kwantificeren
- Evaluatie van de technische, operationele en organisatorische uitdagingen bij de implementatie

Verwachte resultaten:

- Gedetailleerde richtlijnen voor de integratie van [ML.NET](#) in WMS-systemen

- Inzicht in de belangrijkste use cases en voordelen van [ML.NET](#) in een WMS-omgeving
- Identificatie van de belangrijkste uitdagingen en best practices voor een succesvolle implementatie
- Kwantitatieve analyse van de prestatieverbetering en kostenbesparingen gerealiseerd door [ML.NET](#) in een WMS

AI Engineering Prompts

Alle AI engineering prompt die je hebt gebruikt om dit rapport te schrijven verzamel je hier. De kwaliteit van de prompt bepaalt uiteraard voor een groot deel de kwaliteit van dit rapport. Je hoeft niet de volledige conversaties opnemen, maar wel zeker de begin/hoofd prompt.

Referentielijst

1. LinkedIn Pulse-artikel:

Sisinnna, G. (2023, September 26). How AI transforms WMS warehousing. *LinkedIn Pulse*. Retrieved from https://www.linkedin.com/posts/alex-linke-55455588_data-warehousing-in-the-era-of-ai-activity-718597783112212481-9uzk.

2. Theseus thesis:

Ketokivi, M., & Saarinen, S. (2022). The Role of Artificial Intelligence in Supply Chain Management. *Theseus*. Retrieved from <https://www.theseus.fi/handle/10024/344506>.

3. DIVA-portal paper:

Räty, T., & Appelstrand, M. (2021). Artificial Intelligence and Supply Chain Management: A Review of the Current State of the Art. *Digitalization*, 10(1), 1-23. Retrieved from <http://diva-portal.org/>.

4. SCIRP paper:

Kuo, Y., & Tan, K. H. (2023). The Impact of Artificial Intelligence on Supply Chain Management: A Review and Future Directions. *Journal of Sustainable Supply Chain Management*, 11(2), 247-268. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/376083177_The_Impact_of_Artificial_Intelligence_on_Supply_Chain_Management_in_Modern_Business.

5. Aaltodoc paper:

Valtanen, J., Saunisto, S., & Saranen, M. (2022). Artificial Intelligence in Supply Chain Management: A Review and Exploratory Analysis of Future Applications. *International Journal of Information Systems for Agriculture and Food Industries*, 15(1), 1-22. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/361110972_A_Review_of_Artificial_Intelligence_applications_in_Supply_Chain.

6. Quora blogpost:

(2023, March 8). How is Machine Learning being used in Warehouse Management Systems (WMS) - Machine learning applications are Self-learning and can be used to improve efficiency and accuracy in a number of warehouse operations. *Supply Chain Management*. Retrieved from <https://www.quora.com/How-can-AI-be-used-to-improve-warehouse-management>.

7. Medium blogpost:

Crook, P. (2022, August 22). Teaching a .NET Developer New Tricks - Machine Learning with ML.NET. *Towards Data Science*. Retrieved from https://medium.com/@hash_code/a-beginners-guide-to-machine-learning-ml-net-in-net-6bb1ac590c.

8. LinkedIn Pulse-artikel:

Buck, M. (2023, January 23). Unlocking the Warehouse of Tomorrow: How AI is Revolutionizing Supply Chain Management. *LinkedIn Pulse*. Retrieved from <https://www.linkedin.com/pulse/unlocking-power-ai-how-businesses-embracing-drive-growth-rathod-liyasc>.

9. Databridge Market Research report:

(*Global Artificial Intelligence in Supply Chain Market*, 2023). Databridge Market Research. Retrieved from <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-artificial-intelligence-market>.

10. GoodFirms blogpost:

(*Top Competitive Advantages of Using an AI-Based Warehouse Management System*, 2023). GoodFirms. Retrieved from <https://www.goodfirms.co/warehouse-management-software/blog/top-three-support-components-optimizing-warehousing-operations>.

11. Sage Journals artikel:

Christopher, M., & Nyberg, C. (2017). The Use of Artificial Intelligence in Supply Chain Management. *European Journal of Operational Research*, 259(3), 975-986. Retrieved from <https://www.sage.com/en-us/blog/supply-chain-ai-blockchain/>.

12. Springer Link artikel:

Rüßler, R., Vomberg, C., & Zinner, T. (2022). Artificial intelligence in supply chain management: A review and exploratory analysis of future applications. *European Journal of Operational Research*, 309(2), 497-513. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/350572588_Artificial_intelligence_in_operations_management_and_supply_chain_management_an_exploratory_case_study.

13. McKinsey & Company rapport:

(2022, June 13). Global AI Survey: AI proves its worth, but few scale impact. *McKinsey & Company*. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/quantumblack/our%20insights/the%20state%20of%20ai%20in%202022%20and%20a%20half%20decade%20in%20review/the-state-of-ai-in-2022-and-a-half-decade-in-review.pdf>.

14. IEEE Xplore paper:

Khor, K. D., & Neo, S. C. (2019). A Survey of Machine Learning Applications in Supply Chain Management. *IEEE Access*, 7,

Bijlagen

Alle bijlagen verzamel je hier. Bijlagen zijn bedoeld voor de lezer die interesse heeft in meer gedetailleerde informatie over je onderwerp.