

Informatyka temat nr 2	Computer and information sciences topic No. 2
Metoda redukcji transmisji danych w systemach Internetu Rzeczy z wykorzystaniem rozproszonych modeli uczenia maszynowego	A Method for Reducing Data Transmission in Internet of Things Systems Using Distributed Machine Learning Models
PhD supervisor: dr hab. inż. Bartłomiej Płaczek, prof. UŚ https://scholar.google.com/citations?user=8z-IMoYAAAAJ	
<p>Krótką charakterystyka założeń i celów badawczych</p> <p>Projekt badawczy będzie dotyczył jednego z kluczowych problemów współczesnych systemów Internetu Rzeczy, jakim jest nadmierna i energochłonna transmisja danych z urządzeń końcowych o ograniczonych zasobach obliczeniowych i energetycznych. W klasycznych architekturach IoT znaczna część danych generowanych przez sensory jest przesyłana do węzłów nadrzędnych lub do chmury niezależnie od ich rzeczywistej użyteczności dla procesów analitycznych i decyzyjnych. Prowadzi to do szybkiego zużycia energii, ograniczenia skalowalności systemów oraz wzrostu opóźnień komunikacyjnych. Proponowany projekt badawczy ma na celu odejście od tego paradygmatu poprzez wprowadzenie mechanizmów inteligentnej, selektywnej transmisji danych sterowanej lokalnymi decyzjami podejmowanymi w węzłach Internetu Rzeczy.</p> <p>Głównym celem badań będzie opracowanie metody redukcji transmisji danych w systemach IoT, w której węzły sensorowe wykorzystują osadzone modele uczenia maszynowego do oceny zasadności przesyłania aktualnie pozyskiwanych informacji. Decyzje te będą podejmowane lokalnie, na podstawie bieżących danych oraz wcześniej wytrenowanych modeli, i będą miały na celu minimalizację liczby transmisji przy jednoczesnym zachowaniu poprawności działania systemu na</p>	<p>Brief description of research assumptions and goals</p> <p>The proposed research project will address one of the key challenges of contemporary Internet of Things (IoT) systems, namely excessive and energy-intensive data transmission from end devices with limited computational and energy resources. In classical IoT architectures, a significant portion of the data generated by sensors is transmitted to higher-level nodes or to the cloud regardless of its actual usefulness for analytical and decision-making processes. This leads to rapid energy depletion, reduced system scalability, and increased communication latency. The proposed research project aims to depart from this paradigm by introducing mechanisms for intelligent, selective data transmission controlled by local decisions made at IoT nodes.</p> <p>The main objective of the research will be to develop a method for reducing data transmission in IoT systems in which sensor nodes use embedded machine learning models to assess the relevance of currently acquired information for transmission. These decisions will be made locally, based on current data and previously trained models, and will aim to minimize the number of transmissions while preserving the correctness of system operation at the application level. Unlike classical data reduction methods such as aggregation, compression, or signal prediction, the proposed approach focuses on preserving the</p>



poziomie aplikacyjnym. W odróżnieniu od klasycznych metod redukcji danych, takich jak agregacja, kompresja czy predykcja sygnałów, proponowane podejście koncentruje się na zachowaniu jakości informacji istotnej dla procesu decyzyjnego, a nie na rekonstrukcji pełnych strumieni danych pomiarowych.

Istotnym elementem badań będzie formalizacja problemu selektywnej transmisji danych jako zagadnienia optymalizacyjnego, w którym minimalizowana jest liczba przesyłanych komunikatów przy zachowaniu wymaganej jakości wyników generowanych przez system IoT. W ramach pracy analizowane będą zależności pomiędzy kompletnością danych a jakością decyzji podejmowanych w warstwie nadrzędnej, a także wpływ dynamicznie zmieniającej się dostępności danych na stabilność i niezawodność systemu. Pozwoli to na zdefiniowanie kryteriów użyteczności danych, które mogą być stosowane w różnych klasach aplikacji Internetu Rzeczy, niezależnie od ich konkretnej dziedziny zastosowań.

W ramach projektu będą budowane i analizowane rozproszone modele decyzyjne, możliwe do implementacji w węzłach IoT o ograniczonych zasobach obliczeniowych i energetycznych. Badania obejmą ocenę różnych klas modeli uczenia maszynowego pod kątem ich skuteczności decyzyjnej, złożoności obliczeniowej oraz wpływu na zużycie energii. Szczególna uwaga zostanie poświęcona kompromisowi pomiędzy lokalnym kosztem obliczeń a globalnymi oszczędnościami wynikającymi z ograniczenia liczby transmisji. Analizowany będzie również wpływ lokalnych decyzji poszczególnych węzłów na zachowanie całego systemu IoT. Opracowana zostanie architektura systemowa, odporna na niekompletność danych, będącą naturalną konsekwencją selektywnej transmisji. Pozwoli to na tworzenie systemów IoT, które tolerują brak danych i potrafią adaptacyjnie wykorzystywać dostępne informacje.

Opracowana metoda zostanie poddana walidacji eksperymentalnej w wybranych realistycznych scenariuszach Internetu Rzeczy, z wykorzystaniem prototypowych systemów sprzętowych lub środowisk symulacyjnych. Walidacja może zostać

quality of information that is relevant to the decision-making process rather than on reconstructing complete measurement data streams.

An important part of the research will be the formalization of the selective data transmission problem as an optimization task in which the number of transmitted messages is minimized while maintaining the required quality of results generated by the IoT system. The study will analyze the relationships between data completeness and the quality of decisions made at the higher system layers, as well as the impact of dynamically changing data availability on system stability and reliability. This will enable the definition of data utility criteria that can be applied across different classes of IoT applications, regardless of their specific domains.

Within the project, distributed decision models suitable for implementation on IoT nodes with limited computational and energy resources will be developed and analyzed. The research will include an evaluation of different classes of machine learning models with respect to their decision-making effectiveness, computational complexity, and impact on energy consumption. Particular attention will be paid to the trade-off between local computational costs and global savings resulting from a reduced number of transmissions. The impact of local decisions made by individual nodes on the behavior of the entire IoT system will also be analyzed. A system architecture resilient to data incompleteness—an inherent consequence of selective transmission—will be developed. This will enable the design of IoT systems that tolerate missing data and can adaptively exploit available information.

The developed method will be experimentally validated in selected realistic IoT scenarios using prototype hardware systems or simulation environments. Validation may be carried out in IoT systems performing event and context recognition related to human activity and navigation, where continuous interpretation of sensory data is essential. Example scenarios include indoor localization and navigation systems based on sensor networks and wearable devices, recognition





<p>przeprowadzona w systemach IoT realizujących rozpoznawanie zdarzeń i kontekstów związanych z aktywnością człowieka oraz nawigacją, w których istotna jest ciągła interpretacja danych sensorycznych. Przykładowe scenariusze obejmują systemy lokalizacji i nawigacji wewnątrzbudynkowej bazujące na sieciach czujników i urządzeniach nasobnych, rozpoznawanie ruchu i interakcji użytkownika z otoczeniem w inteligentnych budynkach, systemy wspomaganie mobilności osób starszych lub z niepełnosprawnościami, a także systemy bezpieczeństwa reagujące na nietypowe zachowania, takie jak upadki, nagłe zatrzymania czy dezorientacja przestrzenna.</p>	<p>of user movement and interaction with the environment in smart buildings, mobility assistance systems for elderly or disabled individuals, and safety systems responding to atypical behaviors such as falls, sudden stops, or spatial disorientation.</p>
<p>Planowany wkład w rozwój dyscypliny</p> <p>Planowany projekt badawczy wnieśli wkład w rozwój dyscypliny Informatyka, poprzez rozwinięcie formalnych modeli oraz algorytmów przetwarzania i selekcji danych w rozproszonych systemach obliczeniowych. Centralnym elementem badań będzie analiza problemu selektywnej transmisji danych w systemach Internetu Rzeczy jako problemu decyzyjnego i optymalizacyjnego, w którym kluczową rolę odgrywają algorytmy podejmowania decyzji oparte na modelach uczenia maszynowego działających w warunkach niepełnej informacji.</p> <p>Efektami prac będzie sformalizowanie relacji pomiędzy jakością informacji wejściowej, niekompletnej i selektywnie dostępnej, a jakością wyników algorytmów decyzyjnych działających w warstwie nadrzędnej systemu IoT. W ramach pracy zostaną zaproponowane modele matematyczne opisujące użyteczność danych oraz kryteria decyzyjne, na podstawie których algorytmy lokalne podejmują decyzje o ich przekazywaniu. Modele te pozwolą na analizę własności proponowanych algorytmów, takich jak zbieżność, stabilność decyzji oraz odporność na brak danych.</p> <p>Projekt przyczyni się również do rozwoju wiedzy w obszarze projektowania algorytmów uczenia maszynowego działających w środowiskach rozproszonych i posiadających ograniczone zasoby. Analizowane będą klasy modeli decyzyjnych pod kątem ich złożoności obliczeniowej, pamięciowej oraz kosztu aktualizacji modelu. Wkład pracy</p>	<p>Planned contribution to the development of the discipline</p> <p>The planned research project will contribute to the development of the discipline of computer science by advancing formal models and algorithms for data processing and selection in distributed computing systems. A central element of the research will be the analysis of selective data transmission in IoT systems as a decision-making and optimization problem, in which a key role is played by machine learning-based decision algorithms operating under conditions of incomplete information.</p> <p>The outcome of the research will be the formalization of the relationship between the quality of input information—being incomplete and selectively available—and the quality of the results produced by decision algorithms operating at the higher layers of an IoT system. The work will propose mathematical models describing data utility and decision criteria on the basis of which local algorithms decide whether to transmit data. These models will enable analysis of the properties of the proposed algorithms, such as convergence, decision stability, and robustness to missing data.</p> <p>The project will also contribute to the advancement of knowledge in the design of machine learning algorithms operating in distributed and resource-constrained environments. Classes of decision models will be analyzed in terms of computational and memory complexity as well as model update costs. The</p>





<p>polegać będzie na określeniu kompromisów pomiędzy lokalnym kosztem obliczeń, zużyciem energii i globalną jakością realizacji zadań przez system IoT.</p> <p>Projekt wniesie również wkład do metod oceny algorytmów selektywnego pozyskiwania danych w Internecie Rzeczy. Zaproponowane zostaną miary jakości i kryteria porównawcze umożliwiające empiryczną ocenę algorytmów pod kątem relacji pomiędzy redukcją przesyłanych danych wejściowych a jakością wyników obliczeń. Uzyskane wyniki będą stanowić podstawę dalszych badań nad algorytmami rozproszonymi, systemami uczącymi się oraz przetwarzaniem strumieni danych.</p> <p>Projekt badawczy będzie kontynuacją badań wstępnych, opisanych artykule: Lewandowski, M.; Płaczek, B.; Bernas, M. Classifier-Based Data Transmission Reduction in Wearable Sensor Network for Human Activity Monitoring. <i>Sensors</i> 2021, 21, 85. https://doi.org/10.3390/s21010085.</p>	<p>contribution of the work will consist in identifying trade-offs between local computational costs, energy consumption, and the global quality of task execution by an IoT system.</p> <p>The project will further contribute to methods for evaluating selective data acquisition algorithms in the Internet of Things. Quality metrics and comparative criteria will be proposed to enable empirical assessment of algorithms with respect to the relationship between the reduction of transmitted input data and the quality of computational results. The obtained results will form a basis for further research on distributed algorithms, learning systems, and data stream processing.</p> <p>The research project will constitute a continuation of preliminary studies described in the article: Lewandowski, M.; Płaczek, B.; Bernas, M. Classifier-Based Data Transmission Reduction in Wearable Sensor Network for Human Activity Monitoring. <i>Sensors</i> 2021, 21, 85. https://doi.org/10.3390/s21010085</p>
<p>Opis wymagań – wiedza, umiejętności i kompetencje społeczne kandydata</p> <p>Kandydat powinien posiadać ugruntowaną wiedzę z zakresu informatyki, w szczególności obejmującą algorytmy i struktury danych, podstawy analizy algorytmów oraz elementy teorii złożoności obliczeniowej. Wymagana jest znajomość metod uczenia maszynowego, ze szczególnym uwzględnieniem algorytmów klasyfikacyjnych i decyzyjnych, a także podstaw statystycznej analizy danych. Kandydat powinien rozumieć modele obliczeń w systemach rozproszonych oraz zagadnienia związane z przetwarzaniem danych strumieniowych i niekompletnych.</p> <p>Od kandydata oczekuje się umiejętności projektowania, implementacji i analizy algorytmów, w tym algorytmów decyzyjnych opartych na modelach uczenia maszynowego. Kandydat powinien potrafić opisywać problemy badawcze w sposób formalny, proponować rozwiązania algorytmiczne oraz analizować ich własności, takie jak złożoność obliczeniowa, stabilność i odporność na brak danych. Wymagana jest biegłość w programowaniu, umożliwiającą</p>	<p>Description of requirements – knowledge, skills and social competences of the candidate</p> <p>The candidate should possess a solid background in computer science, in particular covering algorithms and data structures, fundamentals of algorithm analysis, and elements of computational complexity theory. Knowledge of machine learning methods is required, with particular emphasis on classification and decision algorithms, as well as basic statistical data analysis. The candidate should understand computational models in distributed systems and issues related to streaming and incomplete data processing.</p> <p>The candidate is expected to have skills in designing, implementing, and analyzing algorithms, including decision algorithms based on machine learning models. The candidate should be able to formally describe research problems, propose algorithmic solutions, and analyze their properties such as computational complexity, stability, and robustness to missing data. Proficiency in programming is required to enable implementation and experimental evaluation of algorithms, as well as the ability to conduct</p>





<p>implementację i eksperymentalną ocenę algorytmów, a także umiejętność prowadzenia badań empirycznych, w tym projektowania eksperymentów, doboru miar jakości oraz interpretacji wyników. Kandydat powinien posiadać zdolność krytycznej analizy literatury naukowej oraz umiejętność formułowania wniosków i uogólnień na podstawie uzyskanych rezultatów.</p> <p>Oczekiwana jest umiejętność pracy w środowisku naukowym, w tym współpracy z promotorem i zespołem badawczym, a także otwartość na dyskusję naukową i konstruktywną krytykę. Kandydat powinien posiadać motywację do systematycznego pogłębiania wiedzy oraz rozwijania kompetencji badawczych, a także świadomość etycznych aspektów prowadzenia badań naukowych. Ważną kompetencją jest zdolność jasnego i precyzyjnego komunikowania wyników badań w formie publikacji naukowych i wystąpień konferencyjnych.</p>	<p>empirical research, including experiment design, selection of quality metrics, and interpretation of results. The candidate should be capable of critically analyzing scientific literature and formulating conclusions and generalizations based on obtained results.</p> <p>The ability to work in a scientific environment is expected, including collaboration with a supervisor and a research team, as well as openness to scientific discussion and constructive criticism. The candidate should demonstrate motivation for systematic deepening of knowledge and development of research competencies, as well as awareness of ethical aspects of conducting scientific research. An important competency is the ability to clearly and precisely communicate research results in the form of scientific publications and conference presentations.</p>

