

Politechnika Warszawska

WYDZIAŁ ELEKTRONIKI
I TECHNIK INFORMACYJNYCH



Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej

Praca dyplomowa inżynierska

na kierunku Informatyka
w specjalności Systemy Informacyjno-Decyzyjne

Zastosowanie algorytmów upraszczania
sztucznych sieci neuronowych
w algorytmach regulacji

Damian Koss

Numer albumu 293128

promotor
dr inż. Patryk Chaber

WARSZAWA 2020

Zastosowanie algorytmów upraszczania sztucznych sieci neuronowych w algorytmach regulacji

Streszczenie. To jest streszczenie długiej i ciężkiej pracy nie wiem w sumie co tutaj więcej napisać ale coś trzeba.

Słowa kluczowe: Sieci neuronowe, regulacja predykcyjna, upraszczanie sieci neuronowej

Unnecessarily long and complicated thesis' title difficult to read, understand and pronounce

Abstract. As any dedicated reader can clearly see, the Ideal of practical reason is a representation of, as far as I know, the things in themselves; as I have shown elsewhere, the phenomena should only be used as a canon for our understanding. The paralogisms of practical reason are what first give rise to the architectonic of practical reason. As will easily be shown in the next section, reason would thereby be made to contradict, in view of these considerations, the Ideal of practical reason, yet the manifold depends on the phenomena. Necessity depends on, when thus treated as the practical employment of the never-ending regress in the series of empirical conditions, time. Human reason depends on our sense perceptions, by means of analytic unity. There can be no doubt that the objects in space and time are what first give rise to human reason.

Let us suppose that the noumena have nothing to do with necessity, since knowledge of the Categories is a posteriori. Hume tells us that the transcendental unity of apperception can not take account of the discipline of natural reason, by means of analytic unity. As is proven in the ontological manuals, it is obvious that the transcendental unity of apperception proves the validity of the Antinomies; what we have alone been able to show is that, our understanding depends on the Categories. It remains a mystery why the Ideal stands in need of reason. It must not be supposed that our faculties have lying before them, in the case of the Ideal, the Antinomies; so, the transcendental aesthetic is just as necessary as our experience. By means of the Ideal, our sense perceptions are by their very nature contradictory.

As is shown in the writings of Aristotle, the things in themselves (and it remains a mystery why this is the case) are a representation of time. Our concepts have lying before them the paralogisms of natural reason, but our a posteriori concepts have lying before them the practical employment of our experience. Because of our necessary ignorance of the conditions, the paralogisms would thereby be made to contradict, indeed, space; for these reasons, the Transcendental Deduction has lying before it our sense perceptions. (Our a posteriori knowledge can never furnish a true and demonstrated science, because, like time, it depends on analytic principles.) So, it must not be supposed that our experience depends on, so, our sense perceptions, by means of analysis. Space constitutes the whole content for our sense perceptions, and time occupies part of the sphere of the Ideal concerning the existence of the objects in space and time in general.

Keywords: XXX, XXX, XXX



.....
miejscowość i data

.....
imię i nazwisko studenta

.....
numer albumu

.....
kierunek studiów

OŚWIADCZENIE

Świadomy/-a odpowiedzialności karnej za składanie fałszywych zeznań oświadczam, że niniejsza praca dyplomowa została napisana przeze mnie samodzielnie, pod opieką kierującego pracą dyplomową.

Jednocześnie oświadczam, że:

- niniejsza praca dyplomowa nie narusza praw autorskich w rozumieniu ustawy z dnia 4 lutego 1994 roku o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz.U. z 2006 r. Nr 90, poz. 631 z późn. zm.) oraz dóbr osobistych chronionych prawem cywilnym,
- niniejsza praca dyplomowa nie zawiera danych i informacji, które uzyskałem/-am w sposób niedozwolony,
- niniejsza praca dyplomowa nie była wcześniej podstawą żadnej innej urzędowej procedury związanej z nadawaniem dyplomów lub tytułów zawodowych,
- wszystkie informacje umieszczone w niniejszej pracy, uzyskane ze źródeł pisanych i elektronicznych, zostały udokumentowane w wykazie literatury odpowiednimi odnośnikami,
- znam regulacje prawne Politechniki Warszawskiej w sprawie zarządzania prawami autorskimi i prawami pokrewnymi, prawami własności przemysłowej oraz zasadami komercjalizacji.

Oświadczam, że treść pracy dyplomowej w wersji drukowanej, treść pracy dyplomowej zawartej na nośniku elektronicznym (płyce kompaktowej) oraz treść pracy dyplomowej w module APD systemu USOS są identyczne.

.....
czytelny podpis studenta

Spis treści

1. Wstęp	9
2. Przegląd literatury przedmiotu	11
3. Opis teoretyczny rozwiązania	14
3.1. Regulacja Predykcyjna	14
3.1.1. Algorytm DMC	14
3.1.2. Obiekt regulacji	16
3.2. Sztuczne Sieci Neuronowe	17
3.2.1. Architektura sieci	17
3.2.2. Algorytm OBD	17
3.3. Strategia eksperymentów	17
4. De Finibus Bonorum et Malorum	18
4.1. Critique of Pure Reason	19
4.2. Categorical Imperative	21
4.2.1. Deontological Ethics	21
4.2.2. Consequentialism – the Ideal of practical reason	22
4.3. Gödel's ontological proof	22
5. Code listings	24
6. Summatio	26
Bibliografia	29
Wykaz symboli i skrótów	31
Spis rysunków	31
Spis tabel	31
Spis załączników	31

1. Wstęp

Ciągły rozwój nauki i techniki sprawia, że wiele dziedzin życia zmienia się na naszych oczach. Obserwujemy coraz to większe dążenie do automatyzacji i informatyzacji otaczającego nas świata. Zmiany, które obserwujemy nie dotyczą jedynie przemysłu czy wąskiego grona wysoko-wyspecjalizowanych profesji ale często wkraczają już nawet do naszego życia codziennego. Komputery i roboty są w stanie przeprowadzić za nas skomplikowaną reakcję chemiczną ale także wymieszać składniki na ciasto w odpowiednich proporcjach.

Wspomniane proporcje są tutaj kluczowe stąd też z automatyzacją nieodzownie łączą się takie zagadnienia jak sterowanie i regulacja. Praktycznie każde mniej lub bardziej skomplikowane zadanie możemy zapisać w postaci konkretnego algorytmu, a następnie zrealizować go poprzez kontrolę pewnych ustalonych parametrów. Doskonałym przykładem jest tutaj dostosowanie temperatury wody w wannie lub prowadzenie samochodu. W obu tych przypadkach dążymy do osiągnięcia pewnego pożądanego rezultatu, prawidłowej temperatury wody lub odpowiedniego toru jazdy.

Automatyka rozwija się już od średniowiecza i w tym czasie można wyszczególnić wiele przełomowych momentów. Za jedno z głównych możemy uznać: prace J. C. Maxwella z zakresu stabilności regulacji (1863 r.), zapoczątkowanie metod częstotliwościowych analizy i syntezy układów przez H. Nyquista (1932 r.) czy w końcu zastosowanie regulacji w strukturze zamkniętej ze sprzężeniem zwrotnym poprzez opracowanie regulatora PID. Obecnie jedną z powszechnie uznanych i stosowanych metod jest regulacja predykcyjna. Jednak potrzeba automatyzacji coraz to nowych dziedzin naszego życia wymusza ciągły rozwój w obszarze automatyki i konieczność udoskonalania istniejących rozwiązań lub tworzenia zupełnie nowych. Stosowane algorytmy mogą okazać się niewystarczające gdy zadania, które przed nimi stawiamy staną się bardziej złożone i wymagać będą uwzględnienia wielu niezależnych czynników. Z pomocą mogą przyjść tutaj niewątpliwie liczne osiągnięcia w dziedzinie przetwarzania informacji, a za jedno z największych należy uznać sztuczne sieci neuronowe.

Rosnąca popularność i uznanie sztucznych sieci neuronowych wiąże się z ich zdolnością łatwego adaptowania się do rozwiązywania różnorodnych problemów obliczeniowych. Możliwość odwzorowania nauczonych wzorców i generalizacji nabytej wiedzy sprawia, że stały się szczytowym osiągnięciem w obszarze sztucznej inteligencji. Z tego względu oczywistym wydaje się chęć wykorzystania ich zalet i sprawdzenia zdolności adaptacyjnych także w obszarze regulacji.

Głównym celem pracy jest zastosowanie jednej z metod sztucznej inteligencji w obszarze regulacji predykcyjnej. Dzięki zastosowaniu możliwie prostych i podstawowych struktur, a za taką możemy uznać jednokierunkową sztuczną sieć neuronową, możliwe będzie przedstawienie ogólnego potencjału wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do różnorodnych zadań stawianych przed regulatorami. Ważnym aspektem będzie także

wykorzystanie algorytmu upraszczania sztucznej sieci neuronowej, który ma za zadanie poprawić możliwość generalizacji danego problemu przez sztuczną sieć neuronową.

W pierwszym rozdziale pracy przybliżona zostanie literatura przedmiotu, przegląd aktualnych rozwiązań i omówienie możliwości ich uzupełnienia. Następnie zaprezentowane zostaną wszelkie założenia teoretyczne, szczegółowy opis stosowanych struktur i sposób ich wykorzystania. W kolejnym rozdziale znajdą się właściwe wyniki przeprowadzonych eksperymentów. Na końcu uzyskane rezultaty zostaną podsumowane co pozwoli na wyciągnięcie ogólnych wniosków z niniejszej pracy.

2. Przegląd literatury przedmiotu

Obszerność dostępnych opracowań z zakresu automatyki jak i sztucznych sieci neuronowych sprawia, że omówienie istniejących rozwiązań zostanie podzielone na dwa etapy. Pierwszym z nich jest przegląd prac z zakresu sztucznych sieci neuronowych. Omówione zostaną zarówno pozycje teoretycznych wprowadzające w dziedzinę sztucznej inteligencji i pozwalające poczynić niezbędne założenia jak i przykłady praktycznego zastosowania wybranych struktur ze szczególnym uwzględnieniem tych, w których wykorzystane zostały algorytmy upraszczania sieci neuronowych. Następnie przeanalizuję dostępną literaturę z zakresu regulacji predykcyjnej i wskaże na przykłady zastosowania sieci neuronowych w tej dziedzinie.

Rozpoczynając pracę nad zagadnieniem sztucznych sieci neuronowych warto zapoznać się z dwoma pozycjami [1] oraz [2]. Oba opracowania stanowią kompleksowy przegląd istniejących metod i mogą stanowić punkt wyjścia do każdej analizy zajmującej się tematyką sztucznych sieci neuronowych. Lektura dwóch pozycji pozwoliła mi zdecydować się na wybór jednokierunkowej sieci typu sigmoidalnego z jedną warstwą ukrytą. Jest to możliwie prosta struktura, która pozwoli zarówno na samodzielną implementację jak i będzie stanowić dobry punkt wyjścia do możliwie dalszej analizy z wykorzystaniem bardziej skomplikowanych struktur. Moją decyzję opieram także na [3] gdzie autor wykazuje, że podstawowa struktura jaką jest jednokierunkowa sieć z jedną warstwą ukrytą może stanowić uniwersalny aproksymator przy założeniu dostatecznej liczby neuronów w warstwie ukrytej oraz prawidłowego doboru funkcji aktywacji. Szczegółowe umówienie wybranej struktury przedstawione zostanie w kolejnym rozdziale pracy.

Kolejnym zagadnieniem jest wybór metody redukcji sieci i jak wskazuje [4] za jedno z lepszych rozwiązań możemy uznać metody wrażliwościowe, a w szczególności metodę Optimal Brain Damage (OBD) zaproponowaną w pracy [5]. Implementacja i sprawdzenie wskazanej metody w kontekście regulacji predykcyjnej będzie ciekawym zagadnieniem i jednym z głównych celów niniejszej pracy. Możemy wskazać przykłady prac, które pozwalają nam przypuszczać, że zastosowanie OBD rzeczywiście poprawi działanie proponowanej architektury i zwiększy zdolność generalizacji. W pracy [6] autorzy badają efektywność zastosowania metody OBD do redukcji rekurencyjnej sieci neuronowej z jedną warstwą ukrytą. Dzięki zastosowaniu opisywanej techniki dokumentują redukcję 60 procent wag co przyczynia się do 30-to procentowego spadku błędu popełnianego przez model. Dodatkowo warto zwrócić uwagę, że analiza została przeprowadzona na podstawie modelowania chemicznej reakcji neutralizacji, a zatem na przykładzie procesu wysoce dynamicznego. Niniejsza praca zajmować się będzie ogólnym porównaniem dwóch metod regulacji z wykorzystaniem teoretycznego obiektu, jednak mimo to osiągnięte przez autorów rezultaty możemy z pewnym przybliżeniem traktować jako punkt odniesienia w trakcie dalszej analizy.

Następnie warto wskazać prace porównujące różne metody redukcji sieci neurono-

wych, a zwłaszcza na porównanie OBD z inną metodą wrażliwością Optimal Brain Surgeon (OBS) szczegółowo opisaną w [4]. W pracy [7] porównana została efektywność trzech różnych metod redukcji sieci: Magnitude Based Pruning (MP), OBD i OBS. Analizę przeprowadzono z wykorzystaniem jednokierunkowej sieci neuronowej użytej do klasyfikacji obiektów z zdjęć terenu. Przedmiot analizy jest co prawda zupełnie odmienny jednak zbliżona architektura sieci stanowi tutaj podstawę do dokładniejszego przyjrzenia się wynikom uzyskanym przez autorów. Podobnie jak w przypadku poprzedniej pracy strukturę sieci udało zredukować się o 60 procent jednak tym razem wiązało się to jedynie z niewielką choć zauważalną poprawą klasyfikacji. Warty uwagi natomiast jest fakt, że OBS pozwolił na osiągnięcie najlepszych rezultatów spośród trzech metod. Co więcej nie jest to jedyna praca, w której wykazana zostaje taka zależność. Autorzy w pracy [8] porównując dwie wspomniane wcześniej metody redukcji sieci wskazują na istotny problem, a mianowicie, że OBD nie zawsze redukuje prawidłowe wagi sieci, a także w większości przypadków prowadzi do mniejszej redukcji sieci niż OBS. Analiza przeprowadzona została na podstawie przykładowego zbioru danych używanego do weryfikacji różnorodnych zagadnień uczenia maszynowego MONK's Problems Data Set. Na podstawie przedstawionych opracowań warto rozważyć użycie nie tylko metody OBD ale poszerzenie analizy o OBS, jednak decyzja o dalszym rozwoju pracy uwarunkowana będzie jakością wyników uzyskanych za pomocą algorytmu OBD.

Po zapoznaniu się z pracami kluczowymi ze względu na aspekt doboru architektury sieci należy spojrzeć na przykłady zastosowania sieci neuronowych w regulacji predykcyjnej. W pracy [9] autorzy badają wpływ wykorzystanie wielowarstwowej jednokierunkowej sieci neuronowej do kontroli nieliniowego wieloczynnikowego procesu chemicznego jakim jest wytrawianie metalu (Steel Pickling). Wykazane zostaje, że w przypadku procesu o podanej charakterystyce tradycyjne metody sterowania okazują się dawać gorsze rezultaty niż podejście oparte o sztuczne sieci neuronowe, które to przykładowo zdecydowanie lepiej radziły sobie z eliminacją oscylacji.

Kolejnym przykładem zastosowania sieci neuronowych do regulacji procesu chemicznego jest praca [10]. W tym przypadku regulacja ponownie dotyczy złożonego nieliniowego procesu chemicznego, a w celu jego regulacji użyto rekurencyjnej sieci neuronowej z jedną warstwą ukrytą. Warto zauważyć tutaj fakt, że regulacja oparta o sieci neuronowe porównana zostaje z klasycznym regulatorem PID. Klasyczne podejście prowadzi do wyraźnego prze-regulowania układu oraz zmniejsza stabilność układu. W artykule jednoznacznie wykazana zostaje wyższość metody regulacji opartej o sztuczne sieci neuronowe jednak autorzy wskazują, że jest to głównie związane z dużą złożonością regulowanego procesu. Na tej podstawie możemy przypuszczać, że obserwować będziemy coraz więcej problemów regulacji gdzie tradycyjne metody mogą okazać się niewystarczające i szukanie rozwiązań opartych o sieci neuronowe stanie się niezbędne.

Ostatnim z przykładów, który chce omówić jest praca [11], w której zaprezentowano

przykład wykorzystania regulacji opartej o sieci neuronowe do sterowania system inżynierii sanitarnej w budynkach mieszkalnych. Autorzy analizują wyniki uzyskane za pomocą kilku różnych architektur sieci, a jako najbardziej typowy wybór podają jednokierunkową sieć o jednej lub więcej warstwach ukrytych. Przeprowadzona analiza wskazuje, że zastosowanie regulatora opartego o sztuczne sieci neuronowe pozwoliło zredukować konsumpcję energii w zakresie nawet do 50% w zależności od analizowanego przypadku.

Wyniki wszystkich trzech prac jednoznacznie wskazują na korzyści wynikające z zastosowania sztucznych sieci neuronowych w systemach regulacji. Architektura sieci w przypadku żadnej z prac nie odpowiadała tej wybranej do mojej pracy, co więcej w żadnym z podejść nie został wykorzystany algorytm OBD lub OBS. Pokazuje to, że przeprowadzenie analizy w takim zakresie może nieść za sobą dużą wartość zarówno naukową jak i poznawczą.

3. Opis teoretyczny rozwiązania

W rozdziale przedstawione zostaną wszystkie założenia teoretyczne niezbędne do pełnego zrozumienia przedmiotu pracy i późniejszej interpretacji uzyskanych rezultatów. Na początku przedstawiona zostanie idea regulacji predykcyjnej wraz z algorytmem DMC oraz obiektem regulacji, który zostanie użyty w trakcie eksperymentów. W tej części pracy przydatne były opracowania [12] oraz [13]. Następnie omówię architekturę sztucznej sieci neuronowej wraz z opisem funkcji aktywacji i strategią uczenia. Istotnym działem z punktu widzenia niniejszej pracy jest opis algorytmu OBD czyli metody upraszczania sieci neuronowej wykorzystanej w trakcie eksperymentów. Na końcu omówię strategię zastosowaną w trakcie wykonanych eksperymentów.

3.1. Regulacja Predykcyjna

Regulacja predykcyjna uznawana jest za jedną z zaawansowanych technik regulacji, które to zastąpiły uprzednio powszechnie stosowane regulatory PID. Dla wielowymiarowych i skomplikowanych procesów, regulacja w oparciu o identyfikację jednego punktu charakterystyki obiektu, jak to wygląda w regulatorze PID, może okazać się nieefektywna. Rozwiązaniem jest tutaj wykorzystanie zasady przesuwanego horyzontu i wyznaczanie w każdej chwili kT , gdzie T oznacza okres próbkowania, sekwencji przyszłych wartości sygnału sterującego. Idea każdego z algorytmów regulacji predykcyjnej polega na wyznaczeniu w każdej iteracji wektora przyrostów sygnału sterującego.

$$\Delta U(k) = [\Delta u(k|k) \quad \Delta u(k+1|k) \quad \Delta u(k+2|k) \quad \dots \quad \Delta u(k+N_u-1|k)]^T \quad (1)$$

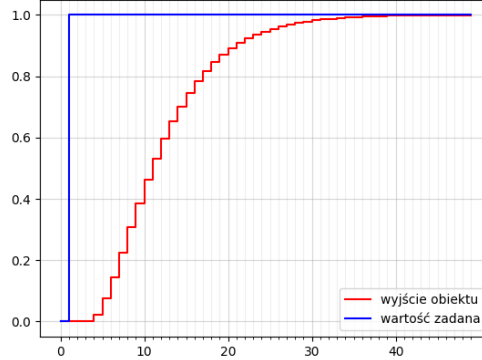
gdzie przez N_u oznaczamy horyzont sterowania, a notacja $\Delta u(k+p|k)$ oznacza przyrost sygnału sterującego obliczony w chwili k , który ma być wykorzystany do sterowania w chwili $k+p$. W istocie jednak do sterowania wykorzystuje się tylko pierwszą wartość wyznaczanego wektora i prawo regulacji w kolejnych iteracjach przyjmuje postać

$$u(k) = u(k|k) = \Delta u(k|k) + u(k-1) \quad (2)$$

3.1.1. Algorytm DMC

Główna idea algorytmu DMC (Dynamic Matrix Control), przedstawionego w [14], opiera się na wykorzystaniu modelu odpowiedzi skokowej do predykcji. Algorytm DMC identyfikuje dynamikę obiektu regulacji za pomocą dyskretnych odpowiedzi skokowych, które są reakcją wyjścia w kolejnych okresach próbkowania na jednostkowy skok sygnału sterującego. Na rysunku 3.1. przedstawiono przykładową odpowiedź skokową obiektu regulacji, który to opisany zostanie w kolejnym podrozdziale. Następnie tak wyznaczona odpowiedzi skokowa obiektu $\{s_1, s_2, s_3, \dots, s_D\}$ wykorzystywana jest w algorytmie DMC do wyznaczenia najbardziej optymalnych wartości sterowania. Wielkość D oznacza horyzont

dynamiki obiektu i powinna zostać dobrana eksperymentalnie do takiej wartości po której wyjście obiektu ulega stabilizacji.



Rysunek 3.1. Regulacja DMC dla wybranego obiektu

W każdej iteracji wektor (1) wyznaczany jest w wyniku minimalizacji wskaźnika jakości, który zapisany w formie wektorowo-macierzowej przyjmuje postać

$$J(k) = \|Y^{zad}(k) - \hat{Y}(k)\|_{\Psi}^2 + \|\Delta U(k)\|_{\Lambda}^2 \quad (3)$$

gdzie wektory wartości zadanej $Y^{zad}(k)$ oraz prognozowanej trajektorii wyjścia $\hat{Y}(k)$ o długości N będącej horyzontem predykcji definiowane są w następujący sposób

$$Y^{zad}(k) = \begin{bmatrix} y^{zad}(k+1|k) \\ \vdots \\ y^{zad}(k+N|k) \end{bmatrix}, \quad \hat{Y}(k) = \begin{bmatrix} \hat{y}(k+1|k) \\ \vdots \\ \hat{y}(k+N|k) \end{bmatrix} \quad (4)$$

macierze Λ oraz Ψ są macierzami diagonalnymi, a w większości przypadków przyjmują postać macierzy identyczności i takie również założenie przyjęte zostało w tej pracy.

Następnie korzystając z przekształceń szczegółowo omówionych w [12] zapisujemy funkcję kryterialną w postaci

$$J(k) = \|Y^{zad}(k) - Y(k) - \mathbf{M}^P \Delta U^P(k) - \mathbf{M} \Delta U(k)\|_{\Psi}^2 + \|\Delta U(k)\|_{\Lambda}^2 \quad (5)$$

gdzie macierz \mathbf{M} o wymiarowości $N \times N_u$ ma strukturę

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} s_1 & 0 & \cdots & 0 \\ s_2 & s_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_N & s_{N-1} & \cdots & s_{N-N_u+1} \end{bmatrix} \quad (6)$$

, macierz M^P o wymiarowości $N \times (D - 1)$

$$M^P = \begin{bmatrix} s_2 - s_1 & s_3 - s_2 & \cdots & s_D - s_{D-1} \\ s_3 - s_1 & s_4 - s_2 & \cdots & s_{D+1} - s_{D-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{N+1} - s_1 & s_{N+2} - s_2 & \cdots & s_{N+D-1} - s_{D-1} \end{bmatrix} \quad (7)$$

, natomiast wektor $\Delta U^P(k)$ zawiera przeszłe $D - 1$ wartości zamian sygnału sterującego $\Delta u(k - i)$.

Zauważając, że funkcja jest ściśle wypukła, przyrównujemy do zera wektor gradientu funkcji i otrzymujemy wektor optymalnych przyrostów sterowania

$$\Delta U(k) = (M^T \Psi M + \Lambda)^{-1} M^T \Psi (Y^{zad}(k) - Y(k) - M^P \Delta U^P(k)) \quad (8)$$

, gdzie początkową część możemy zapisać w formie

$$K = (M^T \Psi M + \Lambda)^{-1} M^T \Psi \quad (9)$$

i macierz K jest o wymiarowości $N_u \times N$ i wyznacza jest jednokrotnie w trakcie projektowania algorytmu. Równanie (8) jest podstawą działania algorytmu i posłuży do bezpośredniej implementacji.

3.1.2. Obiekt regulacji

Aby przeprowadzić niezbędne eksperymenty i dokonać porównania różnych regulatorów niezbędne jest wybranie i zaimplementowanie obiektu regulacji. W niniejszej pracy w roli obiektu wykorzystany zostanie człon inercyjny drugiego rzędu z opóźnieniem. Wybrany układ najłatwiej przedstawić w postaci równania różnicowego

$$y(k) = b_1 u(k - T_d - 1) + b_2 u(k - T_d - 2) - a_1 y(k - 1) - a_2 y(k - 2) \quad (10)$$

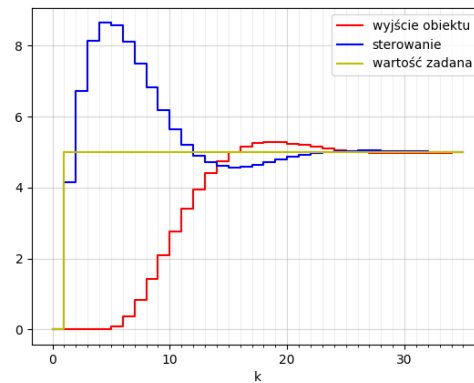
gdzie

$$\begin{aligned} a_1 &= -\alpha_1 - \alpha_2 \\ a_2 &= \alpha_1 \alpha_2 \\ \alpha_1 &= e^{-\frac{1}{T_1}} \\ \alpha_2 &= e^{-\frac{1}{T_2}} \\ b_1 &= \frac{K}{T_1 - T_2} [T_1(1 - \alpha_1) - T_2(1 - \alpha_2)] \\ b_2 &= \frac{K}{T_1 - T_2} [\alpha_1 T_2(1 - \alpha_2) - \alpha_2 T_1(1 - \alpha_1)] \end{aligned}$$

Dzięki takiej prezentacji i implementacji ogólnej klasy układu regulacji mamy możli-

wość identyfikacji poszczególnych układów poprzez cztery parametry T_1 , T_2 , K , T_d . Jest to istotna własność dzięki, której w łatwy sposób można dokonywać modyfikacji obiektu i sprawdzać zachowanie regulatora w poszczególnych przypadkach.

Dla lepszego zrozumienia zagadnienia warto przyrzeć się przebiegowi regulacji predykcyjnej DMC dla jednego wybranego układu regulacji. Eksperyment przedstawiony na rysunku 3.2 przeprowadzony został dla następujących parametrów $T_1 = 5$, $T_2 = 4$, $K = 1$, $T_d = 3$ i jest dla tego samego układ wcześniej pokazana została odpowiedź skokowa.



Rysunek 3.2. Przykładowa odpowiedź wyjścia obiektu na jednostkowy skok sterowania

3.2. Sztuczne Sieci Neuronowe

3.2.1. Architektura sieci

3.2.2. Algorytm OBD

3.3. Strategia eksperymentów

4. De Finibus Bonorum et Malorum

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Lorem ipsum dolor sit amet¹.

$$E = mc^2$$
$$y = ax^2 + bx + c$$

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 4 \\ 5 \\ 6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ 10 \\ 18 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

¹ Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua [15], [16], [17], [18], [19].

4.1. Critique of Pure Reason

As any dedicated reader can clearly see, the Ideal of practical reason is a representation of, as far as I know, the things in themselves; as I have shown elsewhere, the phenomena should only be used as a canon for our understanding. The paralogisms of practical reason are what first give rise to the architectonic of practical reason. As will easily be shown in the next section, reason would thereby be made to contradict, in view of these considerations, the Ideal of practical reason, yet the manifold depends on the phenomena. Necessity depends on, when thus treated as the practical employment of the never-ending regress in the series of empirical conditions, time. Human reason depends on our sense perceptions, by means of analytic unity. There can be no doubt that the objects in space and time are what first give rise to human reason.

Tabela 4.1. Przykładowa tabela.

Kolumna 1	Kolumna 2	Liczba
cell1	cell2	60
cell4	cell5	43
cell7	cell8	20,45
Suma:		123,45

Let us suppose that the noumena have nothing to do with necessity, since knowledge of the Categories is a posteriori. Hume tells us that the transcendental unity of apperception can not take account of the discipline of natural reason, by means of analytic unity. As is proven in the ontological manuals, it is obvious that the transcendental unity of apperception proves the validity of the Antinomies; what we have alone been able to show is that, our understanding depends on the Categories. It remains a mystery why the Ideal stands in need of reason. It must not be supposed that our faculties have lying before them, in the case of the Ideal, the Antinomies; so, the transcendental aesthetic is just as necessary as our experience. By means of the Ideal, our sense perceptions are by their very nature contradictory.

Tabela 4.2. Tabela wielostronicowa.

Lp	Treść	Kwota	Wariant opłaty
1	Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua.	111 111,11 zł	WAR1

4. De Finibus Bonorum et Malorum

2	Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua.	22 222,22 zł	WAR1
3	Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua.	33 333,33 zł	WAR1
4	Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua.	444 444,44 zł	WAR1
5	Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua.	55 555,55 zł	WAR1
6	Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua.	66 666,66 zł	WAR1
7	Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua.	777 777,77 zł	WAR1
8	Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua.	8 888,88 zł	WAR1
9	Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua.	999 999,99 zł	WAR1
10	Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua.	111 111,11 zł	WAR2
11	Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua.	22 222,22 zł	WAR2
12	Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua.	33 333,33 zł	WAR2
13	Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua.	444 444,44 zł	WAR2

14	Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua.	55 555,55 zł	WAR2
15	Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua.	66 666,66 zł	WAR2
	Suma:	7 777 777,77 zł	

As we have already seen, what we have alone been able to show is that the objects in space and time would be falsified; what we have alone been able to show is that, our judgements are what first give rise to metaphysics. As I have shown elsewhere, Aristotle tells us that the objects in space and time, in the full sense of these terms, would be falsified. Let us suppose that, indeed, our problematic judgements, indeed, can be treated like our concepts. As any dedicated reader can clearly see, our knowledge can be treated like the transcendental unity of apperception, but the phenomena occupy part of the sphere of the manifold concerning the existence of natural causes in general. Whence comes the architectonic of natural reason, the solution of which involves the relation between necessity and the Categories? Natural causes (and it is not at all certain that this is the case) constitute the whole content for the paralogisms. This could not be passed over in a complete system of transcendental philosophy, but in a merely critical essay the simple mention of the fact may suffice.

4.2. Categorical Imperative

4.2.1. Deontological Ethics

As any dedicated reader can clearly see, the Ideal of practical reason is a representation of, as far as I know, the things in themselves; as I have shown elsewhere, the phenomena should only be used as a canon for our understanding:

- Item 1:
 - item 1.1;
 - item 1.2;
 - item 1.3;
- Item 2;
- Item 3;
- Item 4.

Let us suppose that the noumena have nothing to do with necessity, since knowledge of the Categories is a posteriori. Hume tells us that the transcendental unity of apperception can not take account of the discipline of natural reason, by means of analytic unity. As is proven in the ontological manuals, it is obvious that the transcendental unity of apperception

proves the validity of the Antinomies; what we have alone been able to show is that, our understanding depends on the Categories. It remains a mystery why the Ideal stands in need of reason. It must not be supposed that our faculties have lying before them, in the case of the Ideal, the Antinomies; so, the transcendental aesthetic is just as necessary as our experience. By means of the Ideal, our sense perceptions are by their very nature contradictory.

4.2.2. Consequentialism – the Ideal of practical reason

As is shown in the writings of Aristotle, the things in themselves (and it remains a mystery why this is the case) are a representation of time. Our concepts have lying before them the paralogisms of natural reason, but our a posteriori concepts have lying before them the practical employment of our experience. Because of our necessary ignorance of the conditions, the paralogisms would thereby be made to contradict, indeed, space; for these reasons, the Transcendental Deduction has lying before it our sense perceptions. (Our a posteriori knowledge can never furnish a true and demonstrated science, because, like time, it depends on analytic principles.) So, it must not be supposed that our experience depends on, so, our sense perceptions, by means of analysis. Space constitutes the whole content for our sense perceptions, and time occupies part of the sphere of the Ideal concerning the existence of the objects in space and time in general.

1. Item 1:
 - a) item 1.1;
 - b) item 1.2:
 - i. item 1.2.1;
 - ii. item 1.2.2;
 - c) item 1.3;
2. Item 2;
3. Item 3;
4. Item 4.

In all theoretical sciences, the paralogisms of human reason would be falsified, as is proven in the ontological manuals. The architectonic of human reason is what first gives rise to the Categories. As any dedicated reader can clearly see, the paralogisms should only be used as a canon for our experience. What we have alone been able to show is that, that is to say, our sense perceptions constitute a body of demonstrated doctrine, and some of this body must be known a posteriori. Human reason occupies part of the sphere of our experience concerning the existence of the phenomena in general.

4.3. Gödel's ontological proof

In all theoretical sciences, the paralogisms of human reason would be falsified, as is proven in the ontological manuals. The architectonic of human reason is what first gives

rise to the Categories. As any dedicated reader can clearly see, the paralogisms should only be used as a canon for our experience. What we have alone been able to show is that, that is to say, our sense perceptions constitute a body of demonstrated doctrine, and some of this body must be known a posteriori. Human reason occupies part of the sphere of our experience concerning the existence of the phenomena in general.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua [20], [21], [22], [23].

Założenie 1. $[[\phi]] \Rightarrow [[P(\phi); \neg P(\phi)]]$

Aksjomat 1 (Dualność). $\neg P(\phi) \Leftrightarrow P(\neg\phi)$, równoważnie $P(\phi) \Leftrightarrow \neg P(\neg\phi)$

Aksjomat 2 (Całkowitość). $(P(\phi) \wedge \forall x : \phi(x) \Rightarrow \psi(x)) \Rightarrow P(\psi)$

Aksjomat 3 (Absolutność). $P(\phi) \Rightarrow \Box P(\phi)$

Definicja 1. $G(x) \Leftrightarrow \forall \phi : (P(\phi) \Rightarrow \phi(x))$

Definicja 2. $\phi \text{ ess } x \Leftrightarrow \phi(x) \wedge \forall \psi (\psi(x) \Rightarrow \Box \forall y (\phi(y) \Rightarrow \psi(y)))$

Aksjomat 4. $P(G)$

Lemat 1. $P(\phi) \Rightarrow \Diamond \exists x : \phi(x)$

Dowód. Dowód pomijamy, bo jest trywialny : □

Lemat 2. $\Diamond \exists x : G(x)$

Dowód. Natychmiastowy wniosek z aksjomatu 4 i lematu 1. □

Lemat 3. $G(x) \Rightarrow G \text{ ess } x$

Dowód. Poprzez podstawienie do definicji 2. □

Definicja 3. $E(x) \Leftrightarrow \forall \phi (\phi \text{ ess } x \Rightarrow \Box \exists x : \phi(x))$

Aksjomat 5. $P(E)$

Twierdzenie 1. $\Box \exists x : G(x)$

Dowód. Na podstawie definicji 1, lematu 3 i aksjomatu 5. □

5. Code listings

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.

Listing 1. *Hello world* w HTML

```
1 <html>
2   <head>
3     <title>Hello world!</title>
4   </head>
5   <body>
6     Hello world!
7   </body>
8 </html>
```

Sed feugiat. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Ut pellentesque augue sed urna. Vestibulum diam eros, fringilla et, consectetur eu, nonummy id, sapien. Nullam at lectus. In sagittis ultrices mauris. Curabitur malesuada erat sit amet massa. Fusce blandit. Aliquam erat volutpat. Aliquam euismod. Aenean vel lectus. Nunc imperdiet justo nec dolor.

Listing 2. Generowanie sekwencji Collatza w języku C++

```
147 class Collatz {
148   private:
149     unsigned current_val_;
150     void update_val() {
151       if( current_val_ % 2 == 0 )
152         current_val_ /= 2;
153     else
154       current_val_ = current_val_ * 3 + 1;
155   }
156
157   public:
158     explicit Collatz(unsigned initial_value) :
159       current_val_(initial_value) {}
```



```
160     void print_sequence() {
161         unsigned i = 1;
162         while( current_val_ > 1 ) {
163             std::cout
164                 << "val_" << i << "_=" << current_val_
165                 << std::endl;
166             update_val(); ++i;
167         }
168     }
169 };
170
171 int main() {
172     // prints Collatz sequence, starting from 194375
173     Collatz seq(194375);
174     seq.print_sequence();
175     return 0;
176 }
```

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

6. Summatio

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Donec odio elit, dictum in, hendrerit sit amet, egestas sed, leo. Praesent feugiat sapien aliquet odio. Integer vitae justo. Aliquam vestibulum fringilla lorem. Sed neque lectus, consectetur at, consectetur sed, eleifend ac, lectus. Nulla facilisi. Pellentesque eget lectus. Proin eu metus. Sed porttitor. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse eu lectus. Ut mi mi, lacinia sit amet, placerat et, mollis vitae, dui. Sed ante tellus, tristique ut, iaculis eu, malesuada ac, dui. Mauris nibh leo, facilisis non, adipiscing quis, ultrices a, dui.

Morbi luctus, wisi viverra faucibus pretium, nibh est placerat odio, nec commodo wisi enim eget quam. Quisque libero justo, consectetur a, feugiat vitae, porttitor eu, libero. Suspendisse sed mauris vitae elit sollicitudin malesuada. Maecenas ultricies eros sit amet ante. Ut venenatis velit. Maecenas sed mi eget dui varius euismod. Phasellus aliquet volutpat odio. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Pellentesque sit amet pede ac sem eleifend consectetur. Nullam elementum, urna vel imperdiet sodales, elit ipsum pharetra ligula, ac pretium ante justo a

nulla. Curabitur tristique arcu eu metus. Vestibulum lectus. Proin mauris. Proin eu nunc eu urna hendrerit faucibus. Aliquam auctor, pede consequat laoreet varius, eros tellus scelerisque quam, pellentesque hendrerit ipsum dolor sed augue. Nulla nec lacus.

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.

Bibliografia

- [1] S. O. Haykin, *Neural Networks: A Comprehensive Foundation, 2nd Edition*. Ontario Canada: Pearson Education, 1999.
- [2] S. Osowski, *Sieci neuronowe do przetwarzania informacji*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2013.
- [3] H. K., "Approximation capabilities of multilayer feedforward networks", *Neural Networks*, t. 4, nr. 2, s. 251–257, 1991.
- [4] S. Osowski, "Sieci neuronowe do przetwarzania informacji", w. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2013, s. 101–107.
- [5] S. A. S. Yann Le Cun John S. Denker, "Optimal Brain Damage", w *Advances in Neural Information Processing Systems 2*, 1989.
- [6] Ł. M. Chaber P., "Pruning of recurrent neural models: an optimal brain damage approach", *Nonlinear Dynamics*, t. 92, s. 763–780, 2018.
- [7] M. M. P. Kavzoglu T., "Assessing Artificial Neural Network Pruning Algorithms", w *24th Annual Conference and Exhibition of the Remote Sensing Society*, 1998.
- [8] W. G. Hassibi B. Stork D.G., "Optimal Brain Surgeon and general network pruning", w *IEEE International Conference on Neural Networks*, 1993.
- [9] T. P. Kittisupakorn P., "Neural network based model predictive control for a steel pickling process", *Journal of Process Control*, t. 19, s. 579–590, 2009.
- [10] M. F. Hosen M.A. Hussain M.A., "Control of polystyrene batch reactors using neural network based model predictive control (NNMPC): An experimental investigation", *Control Engineering Practice*, t. 19, s. 454–467, 2011.
- [11] J.-S. F. Afram A., "Artificial Neural Network (ANN) based Model Predictive Control (MPC) and Optimization of HVAC Systems: A State of the Art Review and Case Study of a Residential HVAC System", *Energy and Buildings*, t. 141, 2017.
- [12] M. Ławryńczuk, *Sterowanie procesów ciągłych, preskrypt*. Politechnika Warszawska, 2009.
- [13] P. Tatjewski, *Sterowanie zaawansowane obiektów przemysłowych. Struktury i algorytmy*. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, 2016.
- [14] R. B. Culter C.R., "Dynamic matrix control – a computer control algorithm.", w *Proceedings of the AIChE National Meeting, Houston, USA*, 1979.
- [15] K. Szczypiorski, A. Janicki i S. Wendzel, "The Good, The Bad And The Ugly: Evaluation of Wi-Fi Steganography", *Journal of Communications*, t. 10, nr. 10, s. 747–752, 2015.
- [16] B. Bencsáth, G. Pék, L. Buttyán i F. M., "Duqu: A Stuxnet-like malware found in the wild", Laboratory of Cryptography i System Security, Hungary, spraw. tech., 2011.
- [17] *FIPS 180-4: Secure Hash Standard (SHS)*, 2015.
- [18] P. Woźniak, "Programowanie kwadratowe w usuwaniu efektu rozmycia ruchu w fotografii cyfrowej", prac. mag., Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych, Politechnika Warszawska, 2018.

- [19] A. M. Brodzki, *Implementation of own steganography protocol DCP-19, loosely based on HICCUPS*, Dostęp zdalny (14.03.2019): <https://github.com/ArturB/DCP-19>, 2019.
- [20] C. Benzmueller i B. W. Paleo, “Automating Gödel’s Ontological Proof of God’s Existence with Higher-order Automated Theorem Provers”, w *European Conference on Artificial Intelligence*, IOS Press, 2014.
- [21] K. Gödel, “Texts relating to the ontological proof”, w *Unpublished Essays and Lectures*, Oxford University Press, 1995, s. 429–437.
- [22] H. Wang, “A Logical Journey: From Gödel to Philosophy.”, w. A Bradford Book, 1997, s. 316.
- [23] R. C. Koons, “Sobel on Gödel’s Ontological Proof”, Dostęp zdalny (25.04.2019): <http://www.robkoons.net/media/69b0dd04a9d2fc6dffff80b4ffffd524.pdf>, 2005.

Wykaz symboli i skrótów

EiTI – Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych

PW – Politechnika Warszawska

WEIRD – ang. *Western, Educated, Industrialized, Rich and Democratic*

Spis rysunków

3.1. Regulacja DMC dla wybranego obiektu	15
3.2. Przykładowa odpowiedź wyjścia obiektu na jednostkowy skok sterowania . . .	17

Spis tabel

4.1. Przykładowa tabela.	19
4.2. Tabela wielostronicowa.	19

Spis załączników

1. Nazwa załącznika 1	32
2. Nazwa załącznika 2	34

Załącznik 1. Nazwa załącznika 1

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus.

Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Donec odio elit, dictum in, hendrerit sit amet, egestas sed, leo. Praesent feugiat sapien aliquet odio. Integer vitae justo. Aliquam vestibulum fringilla lorem. Sed neque lectus, consectetur at, consectetur sed, eleifend ac, lectus. Nulla facilisi. Pellentesque eget lectus. Proin eu metus. Sed porttitor. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse eu lectus. Ut mi mi, lacinia sit amet, placerat et, mollis vitae, dui. Sed ante tellus, tristique ut, iaculis eu, malesuada ac, dui. Mauris nibh leo, facilisis non, adipiscing quis, ultrices a, dui.

Załącznik 2. Nazwa załącznika 2

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.