

PAWEŁ PIĄTEK\*

SIECI NEURONOWE – ANALIZA MOŻLIWOŚCI  
ZASTOSOWANIA TEJ TECHNOLOGII  
DO ZAGADNIENIA STEROWANIA OGRZEWANIEM  
W DOMU JEDNORODZINNYM

THE NEURAL NETWORKS – THE ANALYSIS  
OF POSSIBILITIES OF USING THIS TECHNOLOGY  
TO CONTROL SINGLE-FAMILY  
HOME HEATING SYSTEM

## Streszczenie

Sieci neuronowe są ciekawym zagadnieniem i znajdują obecnie coraz to więcej zastosowań w różnych dziedzinach nauki czy przemysłu. Ich właściwości są na tyle niezwykle, że w rozwiązywaniu problemów technicznych sieci neuronowe często zastępują klasyczne techniki programowania czy metody numeryczne. Artykuł opisuje, czym są sieci neuronowe, w jaki sposób działają oraz analizuje koncepcję możliwego zastosowania tej metody do sterowania procesem ogrzewania w domu jednorodzinnym.

*Słowa kluczowe: sztuczny neuron, sieci neuronowe, sterowanie ogrzewaniem*

## Abstract

Neural networks are an interesting issue and nowadays they are more and more commonly used in various fields of science and industry. Their properties are often extraordinary – that is why while solving technical problems conventional programming techniques and numerical methods are often replaced by neural networks. The article describes what neural networks are, how they work and analyses the idea of the possibility of using this method to control the heating process in a single-family house.

*Keywords: artificial neuron, neural networks, heating control*

\* Mgr inż. Paweł Piątek, Instytut Informatyki Stosowanej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

## 1. Neuron w biologii

Neuron (w znaczeniu biologicznym) jest typem komórki występującej w układzie nerwowym organizmu. Zbudowany jest z ciała komórkowego oraz wypustek cytoplazmatycznych. Wypustki te spełniają dwojaką rolę. Pełnią swoistą funkcję wejścia-wyjścia w przesyłaniu informacji do i z danego neuronu. Dendryty przewodzą impulsy elektryczne przepływające do komórki nerwowej. Wewnątrz tej komórki impulsy są odpowiednio przetworzone, a następnie zostaje wysłany impuls elektryczny na akson, czyli wypustkę wyjściową komórki. Do aksonu podłączone są dendryty innych komórek nerwowych, w związku z czym wytworzony sygnał elektryczny jest przesłany dalej, do kolejnych neuronów. Połączenia między neuronami nazwane są synapsami.

Dzięki różnym konfiguracjom połączeń między neuronami powstają lokalne grupy neuronów wyspecjalizowanych w wykonywaniu określonych funkcji. Grupę takiego typu czasami określa się mianem superneuronu, który od strony mechanicznej działa na tej samej zasadzie, co pojedynczy neuron, jednak ilość przetwarzanych przez niego sygnałów jest nieporównywalnie większa niż dla pojedynczej komórki. Najwięcej neuronów znajduje się w centralnym układzie nerwowym organizmu. Oczywiście układ nerwowy jest skomplikowaną strukturą podłączoną nie tylko samą do siebie. Aby poprawnie sterować funkcjami życiowymi organizmu, układ nerwowy musi być niejako do niego podłączony w określonych miejscach. Rolę wejścia pełnią czujniki – różnorodnego typu komórki czuciowe, przechwytyjące i dostarczające do układu nerwowego liczne sygnały o stanie fizycznym organizmu. Z kolei sygnały wyjściowe są wysyłane z układu nerwowego do efektorów (komórek wykonawczych), które sterują określonymi funkcjami organizmu.

## 2. Neuron w technice

Ponieważ rozwój techniki pozwala zdobywać coraz większą wiedzę na temat otaczającego nas świata, sięgać dalej i głębiej, tylko kwestią czasu było, aż podjęte zostaną próby zbudowania sztucznej wersji ludzkiego układu nerwowego oraz mózgu.

Pierwsze eksperymenty dotyczyły zbudowania sztucznego modelu pojedynczego neuronu, następnie niewielkich grup złożonych z połączonych ze sobą neuronów, wreszcie jeszcze bardziej skomplikowanych struktur. Szybko okazało się, że eksperymenty z różnymi sztucznymi sieciami neuronowymi dają ciekawe rezultaty.

Na rynku wydawniczym znajduje się wiele pozycji literatury poświęconych zagadnieniu sztucznych sieci neuronowych. Na rynku krajowym jedną z pierwszych pozycji była książka autorstwa prof. Ryszarda Tadeusiewicza pt. *Sieci Neuronowe*. Jest to doskonała pozycja dla osób chcących zapoznać się z tym tematem. Autor dokładnie bada zagadnienie i wyjaśnia zarówno podstawowe, jak i bardziej zaawansowane informacje na ten temat. Większość współczesnych publikacji z tego tematu bazuje właśnie na tej pozycji.

Sieć neuronowa (w znaczeniu sztucznie stworzonej sieci neuronowej) jest to zbiór podobnych do siebie obiektów połączonych w określony system logiczny. System taki zwany jest czasem strukturą matematyczną, którą można opisać za pomocą modelu programowego (lub sprzętowego), wykonującego obliczenia na dostarczonych informacjach wejściowych. Sieć taka zwyczajowo zbudowana jest z kilku rzędów elementów, co powoduje

iz pierwotne sygnały wejściowe zostają wielokrotnie przetworzone. Na wyjściu sieci otrzymuje się wynik (lub kilka wyników) takiego przetwarzania. Na pierwszy rzut oka wydaje się mało prawdopodobne, by układ zbudowany w wielu miejscach na zasadzie losowych wartości, bez dokładnego modelu matematycznego, mógł generować na wyjściu prawidłowy wynik. Okazuje się jednak, że w wielu przypadkach takie rozwiązanie daje dobre rezultaty.

Udaje się to uzyskać m.in. przez przypisanie odpowiednich wag poszczególnym wejściom neuronu. Opisują one, jak ważne dla neuronu są określone wejścia. Wartość waga wzrasta tym bardziej, im mocniej dane wejście jest wykorzystywane. Natomiast wartość zmniejsza się, gdy wejście jest pobudzane rzadko. Dzięki temu po pewnym czasie pojedynczy neuron sam będzie w stanie określić, co jest dla niego istotne, a co zbędne. Oczywiście stan ten może zmienić się z biegiem czasu, jeśli wejścia będą pobudzane w inny sposób.

Sygnały wejściowe zostają „przemnożone” przez przypisane im wartości wagowe. Następnie otrzymane wartości zostają zsumowane. Na podstawie otrzymanego wyniku jest wygenerowana wartość wyjściowa. Funkcja, według której przetwarzane są sygnały, nosi nazwę funkcji przejścia. Jej kształt zależy od projektanta neuronu, choć najczęściej spotyka się funkcje binarne (tak/nie), funkcje liniowe bądź w bardziej zaawansowanych konstrukcjach funkcje sigmoidalne (np. tangens hiperboliczny). Otrzymana wartość przekierowana jest na wyjście i przesłana dalej w strukturę sieci (do następnej warstwy neuronów bądź jako końcowy wynik).

### 3. Praktyczne zastosowania sieci neuronowych

Sztuczna sieć neuronowa nie powinna być postrzegana jako skomplikowana funkcja matematyczna, mimo że pozwala otrzymywać podobne wyniki. Inny jest bowiem sposób przeprowadzania obliczeń niż w przypadku funkcji. Przykładowo, w ujęciu matematycznym suma liczb 2 i 3 jest równa dokładnie 5. To samo działanie realizowane z użyciem sieci neuronowych i jego wynik opisać można zdaniem: suma około dwa i około trzy daje około pięć. Uzyskany wynik jest zatem przybliżeniem rzeczywistej wartości. Mimo to sieci neuronowe znajdują szerokie zastosowanie w praktyce. Dotyczy to głównie tych zagadnień, gdzie:

- nie istnieje lub nie jest znany wzór opisujący dane zjawisko. Odpowiednia sieć neuronowa, nauczona na podstawie danych testowych i wyników obserwacji badanego zjawiska, będzie w stanie wygenerować jego model w miarę zbliżony do modelu prawdziwego – jeszcze nieopisanego, co w przypadku alternatywy braku jakiegokolwiek modelu jest dobrym rozwiązaniem,
- obliczenia są zbyt złożone, co sprawia, że na wynik klasycznych obliczeń trzeba by czekać bardzo długo. Przykładowo problem znalezienia najkrótszej drogi dla ogromnej ilości punktów. Klasyczny algorytm liczyłby długo, a sieć neuronowa podaje zadowalający, przybliżony wynik w dużo krótszym czasie.

Wynika z tego, że sieci tego typu będą najczęściej stosowane do:

- prognozowania – przewidywanie wyniku końcowego na podstawie danych wejściowych, nawet w sytuacji, gdy ich ilość jest ograniczona. Dobrym przykładem jest próba prognozowania zachowania giełdy na podstawie danych ekonomicznych z przeszłości.

- analizy oraz rozpoznawania danych – dobrze wyuczona sieć jest w stanie poukładać chaotyczne informacje wejściowe w logiczne elementy oraz stwierdzić, co jest czym. Tego typu sieć jest w stanie rozpoznać cały obraz jedynie po kilku fragmentach,
- klasyfikacji danych – z gąszczy informacji sieć sama wychwytuje te najważniejsze, a następnie na ich podstawie podejmuje decyzje, co do dalszego postępowania. Przykładowo sieci bankowe analizujące wszelkie aspekty (nie tylko finansowe) danej osoby, a następnie podejmujące decyzję w sprawie odmowy bądź przyznania kredytu,
- filtracji sygnałów – sygnały często są zniekształcone przez tzw. szumy losowe i inne zakłócenia. Sieć eliminuje je, pozostawiając wyłącznie poprawny, niezniekształcony sygnał. Nowoczesne systemy do filtracji sygnałów (np. w radioteleskopach) korzystają z technik sieci neuronowych,
- optymalizacji – sytuacje, w których trzeba coś polepszyć czy poprawić, jednakże klasyczne metody numeryczne nie zawsze okazują się skuteczne. Wzory ścieżek elektronicznych na płytkach drukowanych są dobrym przykładem optymalizacji z użyciem sieci neuronowych.

Sieci neuronowe, by mogły prawidłowo rozwiązywać postawione im zadania, muszą zostać poddane procesowi nauczania. Dysponując założoną wcześniej architekturą sieci, umiejętnie ją ucząc, można sprawiać, że będzie mniej lub bardziej „inteligentna”, tym samym określone zostanie, z jakim stopniem poprawności będzie rozwiązywała problemy przed nią postawione. Do najpopularniejszych metod uczenia należą:

- uczenie z nauczycielem – sytuacja, w której na podstawie określonych danych wejściowych sieć jest dodatkowo informowana o oczekiwanym wyniku. Rolą sieci podczas takiego uczenia jest taka manipulacja wagami, aby wynik końcowy był jak najbliższy oczekiwanego. Daje to pewność, że później sieć będzie samodzielnie rozwiązywała większość problemów o podobnym stopniu skomplikowania (niczym uczeń, który pisze sprawdzian z wiadomości, których się nauczył wcześniej na zajęciach),
- uczenie z krytykiem – prostsza odmiana pierwszej metody. W tym przypadku sieć jest informowana jedynie o tym, czy wynik dedukcji jest dobry czy zły. Przypomina to klasyczną zabawę w ciepło-zimno, gdzie po kilku próbach druga osoba jest w stanie odgadnąć, co mieliśmy na myśli,
- uczenie bez nadzoru – sieć sama z siebie próbuje ustalić, jaki wynik jest poprawny. Choć ten właśnie model jest najbliższy modelowi biologicznemu, to jednak do praktycznych zastosowań rzadko stosowany, gdyż w ogromnej liczbie przypadków generuje przypadkowe wyniki.

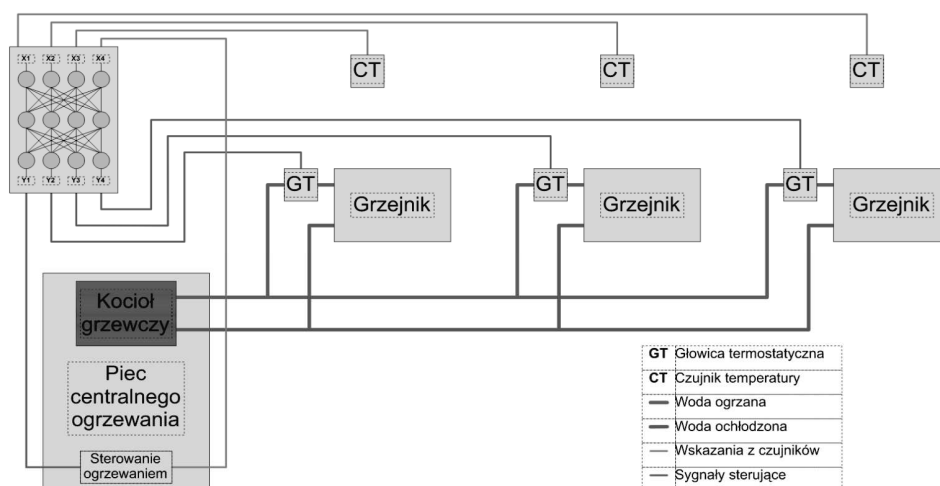
Dodatkowo podczas uczenia sieci stosuje się wiele mechanizmów, zwanych regułami, znacznie zwiększających efektywność takiego uczenia. Reguły te dotyczą najczęściej metod sterowania wagami neuronów. Zastosowanie określonych reguł jest kwestią decyzji projektanta sieci, gdyż są sytuacje, w których reguła może bardziej utrudnić, niż pomóc.

Oczywiście wiele innych aspektów towarzyszy temu zagadnieniu. Nie sposób wymienić nawet części z nich w krótkim artykule. Bardzo dobrą książką jest praca zbiorowa pt. *Sztuczne sieci neuronowe* autorstwa panów J. Żurady, M. Barskiego oraz W. Jędruchy. Pozycja ta, oprócz wyjaśnienia głównej teorii, przesycona jest mnóstwem różnego rodzaju przykładów praktycznych zastosowań sieci neuronowych. Przykładów, które przy niewielkiej znajomości języka programowania, można wykonać samodzielnie.

#### 4. Analiza systemu centralnego ogrzewania

Określenie centralne ogrzewanie odnosi się do hydraulicznych instalacji grzewczych, z piecem oraz kotłem centralnym zamontowanym wewnątrz lub w okolicy ogrzewanego budynku. Ciepło wytwarzane jest w kotle. Czynnik grzewczy, jakim jest nagrzana woda, przepływa systemem rur, transportując energię cieplną do powierzchni grzewczych (grzejników). Tam, woda nagrzana wytrąca tę energię, a następnie jako schłodzona powraca do kotła, celem ponownego jej ogrzania (tym samym cykl się zamyka).

Dla celów analizy zagadnienia założono prosty system centralnego ogrzewania z cyrkulacją naturalną. Nie uwzględniono innych elementów, jak np. pompy obiegowe czy zbiornik wyrównawczy, aby nie komplikować schematu. Wybrano piec gazowy, gdyż sterowanie jego grzaniem jest nieskomplikowane (zmiana przepływu gazu zasilającego zmienia wielkość płomienia, a tym samym wpływa na temperaturę wody w kotle). Odpowiedni schemat przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Uproszczony schemat sterowania ogrzewaniem przy użyciu sieci neuronowej  
Fig. 1. Simplified diagram of the heating control using neural network

Klasyczny model automatycznego sterowania ogrzewaniem zakłada, że optymalna temperatura powietrza w pomieszczeniach zostaje ustawiona przez użytkownika systemu. Sterownik stara się wyregulować grzaniem pieca w taki sposób, aby tę temperaturę osiągnąć, a następnie ją utrzymać (w granicach przyjętej tolerancji). Jest to rozwiązanie dobre, gdy wymagana jest jednakowa temperatura w całym budynku. W sytuacji, gdy preferencje temperaturowe są różne, to o ile system na to pozwala, należy ręcznie, za pomocą zaworów głowic termostatycznych grzejników, zmniejszyć przepływ czynnika grzewczego, tym samym obniżyć temperaturę w danym pomieszczeniu. Wiąże się to z pewną stratą, gdyż w takim przypadku będzie występowało grzanie pieca, choć nie cała energia cieplna zostanie wykorzystana. Bardziej zaawansowane systemy sterujące pozwalają na programowanie cykli pracy (np. dzień/noc), co podnosi ich efektywność. Jednakże rzadko stosowane są dodatkowe mechanizmy optymalizacyjne, próbujące na bieżąco znaleźć i wykorzystać zależności pomiędzy poszczególnymi elementami systemu w taki sposób, aby do

maksimum podnieść jego wydajność przy jednoczesnej minimalizacji kosztów jego funkcjonowania.

### 5. Koncepcja sterowania z użyciem sieci neuronowych

Zaproponowano, aby klasyczny sterownik programowalny zastąpić innym urządzeniem mającym lepsze właściwości adaptacyjne do otoczenia, w którym pracuje. Ze względu na występujący tu problem optymalizacyjny wzięto pod uwagę rozwiązanie z użyciem sieci neuronowych. Problem, o którym mowa, wygląda następująco: do jakiego minimalnego poziomu nagrzać wodę w głównym kotle grzewczym, aby zapewnić odpowiednie temperatury w każdym z pomieszczeń oddzielnie. Dodatkowym wskazaniem przemawiającym na korzyść sieci neuronowych jest fakt, że sygnały wejściowe i wyjściowe mogą być różnych typów. Sygnałami wejściowymi są oczywiście wskazania z czujników temperatury powietrza (można również wziąć pod uwagę temperaturę wody) zamontowanych w każdym z pomieszczeń oddzielnie. Z pomocą technicznie prostych do zrealizowania czujników, można by mierzyć także wartości innych zjawisk, jak np. uchylone okno, pora dnia, włączona wentylacja. Zdarzenia te, choć w niewielkim stopniu, to jednak wpływają na zmianę temperatur w obiekcie. Mogłoby się okazać, że odpowiednie uwzględnienie tych zjawisk pozwoliłoby na poprawę wydajności całego systemu. Natomiast sygnały wyjściowe są dwojakiego typu – jakościowego oraz ilościowego. Sterowania jakościowego dokonuje się na głównym kotle. To od stopnia jego nagrzania zależy maksymalna temperatura wody. Z kolei głowice termostatyczne (z elektronicznym sterowaniem) dokonywałyby sterowania ilościowego przez umożliwienie przepływu do grzejnika odpowiedniej ilości czynnika grzewczego. Każde z pomieszczeń ma inne właściwości, takie jak: powierzchnię użytkową, rozmiar okien, wentylację czy usytuowanie (na południe), zatem wymagałoby nieco innego wysterowania regulatorem grzejnika. Klasyczne metody regulacji nie uwzględniają wspólnego sterowania dla grzania kotła i jednoczesnej regulacji głowicami grzejników. Skupiają się raczej na tym pierwszym. Sieć neuronowa uwzględniająca ten aspekt, mogłaby sterować bardziej dokładnie, chociażby metodą małych, eksperymentalnych zmian w regulacji obserwować zmiany temperatur i na bieżąco korygować grzanie w taki sposób, aby te temperatury były optymalne (np. nie ma potrzeby grzać wodę w głównym kotle do zbyt wysokiej temperatury, skoro w praktyce nie wykorzystamy całkowicie tej energii).

Analiza zagadnienia wskazuje, że eksperyment należałoby przeprowadzić w kilku krokach. Dopiero po całkowitym wykonaniu danego etapu można by zacząć etap kolejny.

Ze względów technologicznych i finansowych nie ma możliwości zbudowania rzeczywistego obiektu testowego, tj. budynku wraz z systemem grzewczym, i przeprowadzenia doświadczeń bezpośrednio na nim. Dlatego należy wykonać model wirtualny obiektu i na nim przeprowadzić symulacje. Przy użyciu komputerów i specjalnego oprogramowania służącego do modelowania przepływów i zależności temperaturowych (np. ANSYS) można to wykonać. Używając programu, należy stworzyć bazę danych – bazę relacji pomiędzy poszczególnymi parametrami opisującymi testowy budynek. W miarę możliwości należy przeprowadzić aproksymacje funkcji tych zależności, celem ich uproszczenia, a tym samym podniesienia wydajności obliczeń. Założono, że straty w procesie aproksymacji zostaną skompensowane przez sieć i możliwe pojawiające się z tego powodu błędy będą minimalne.

Kolejnym krokiem, jaki należałoby zrobić, jest budowa wirtualnej sieci neuronowej. Można tego dokonać za pomocą wybranego języka programowania lub specjalnych programów do modelowania sieci neuronowych. Samo opracowanie odpowiedniej architektury sieci jest procesem skomplikowanym i długotrwałym. Informacje zawarte we wcześniej utworzonej bazie danych relacji pozwoliłyby na przyspieszenie tego procesu. Uczenie sieci mogłoby być wspomagane przez oprogramowanie wcześniej wykorzystane do symulacji układu. Na podstawie tych samych danych wejściowych, sieć generowałaby wyniki, zostałyby one porównane z wynikami symulacji w programie, sieć zostałaby zmodyfikowana. W sytuacji gdy doświadczalna sieć generowałaby zadowalające wyniki, można by pomyśleć o próbie przeniesienia sieci w nowe środowisko.

Kolejny etap badań to budowa prototypowego modelu fizycznego. Model taki musiałby spełniać kilka warunków. Byłby zbudowany w skali i musiałby w miarę dokładnie odpowiadać właściwościom modelu rzeczywistego. Poza tym musiałby być technologicznie w miarę prosty do zbudowania. Zaproponowano tutaj dwie koncepcje:

1. Model rurowy – model, w którym czynnikiem aktywnym jest woda. W ramach dalszego uproszczenia piec gazowy można by zastąpić grzałką elektryczną. Przewody rurowe należy zastąpić niewielkimi rurkami wykonanymi z miedzi bądź tworzywa sztucznego. Zamiast grzejników zastosować ich mniejsze odpowiedniki. Model trudny do zbudowania, technologicznie zbliżony do modelu rzeczywistego. Istota problemu zostaje zachowana – występuje sterowanie grzaniem wody, badana jest temperatura.
2. Model elektryczny – przewody rurowe z wodą zostają zastąpione przewodami elektrycznymi. Czynnikiem aktywnym w tym modelu jest prąd płynący tymi przewodami, regulatorami – potencjometri. Zamiast grzejników, można zastosować grzałki elektryczne, zamiast pieca grzewczego – zasilacz. Model prosty i w miarę tani w wykonaniu. Istota problemu jest uproszczona – sterujemy napięciem, badamy temperaturę.

Choć zaproponowane modele różnią się fizycznie od obiektu rzeczywistego, to należy pamiętać, że głównym celem doświadczenia ma być próba przeniesienia wirtualnej sieci neuronowej do fizycznego sterownika, za pomocą którego sterowany ma być obiekt fizyczny. Gdyby wyniki eksperymentu – sterowania siecią neuronową wybranego modelu prototypowego okazały się zadowalające, w miarę posiadanych zasobów, można by próbować zaadaptować jakiś istniejący klasyczny system sterowania ogrzewaniem i zastąpić sterownik mikroprocesorowy sterownikiem z wbudowanym w niego oprogramowaniem neuronowym.

#### Literatura

- [1] Tadeusiewicz R., *Sieci neuronowe*, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1993.
- [2] Żurada J., Barski M., Jędruch W., *Sztuczne sieci neuronowe*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1996.