**42. Własności sieci neuronowych**

Jako obiekt badań sieci neuronowe stanowią bardzo uproszczony (przez co łatwiejszy do ogarnięcia myślą lub do zamodelowania na komputerze), ale bogaty i ciekawy model rzeczywistego biologicznego systemu nerwowego.

Składają się one z połączonych ze sobą obiektów (umownie zwanych neuronami). Istotną cechą sieci takich elementów jest możliwość uczenia się - to jest modyfikowania parametrów charakteryzujących poszczególne neurony w taki sposób, by zwiększyć efektywność sieci przy rozwiązywaniu zadań określonego typu.

Sieci neuronowe mogą być bardzo skuteczne jako narzędzia obliczeniowe - i to w rozwiązywaniu takich zadań, z którymi typowe komputery i typowe programy sobie nie radzą. Jest tak z tego powodu, że sieci neuronowe mają w stosunku do typowych systemów obliczeniowych dwie zasadnicze zalety. Po pierwsze obliczenia są w sieciach neuronowych wykonywane równolegle, w związku z czym szybkość pracy sieci neuronowych może znacznie przewyższać szybkość obliczeń sekwencyjnych. Drugą zaletą sieci jest możliwość uzyskania rozwiązania problemu z pominięciem etapu konstruowania algorytmu rozwiązania problemu.

Sieci nie trzeba programować. Istnieją metody uczenia i samouczenia sieci pozwalają uzyskać ich celowe i skuteczne działanie nawet w sytuacji, kiedy twórca sieci nie zna algorytmu, według którego można rozwiązać postawione zadanie.

Zarówno program działania oraz informacje stanowiące bazę wiedzy, a także dane na których wykonuje się obliczenia, jak i sam proces obliczania - są w sieci całkowicie rozproszone.

Sieć działa zawsze jako całość i wszystkie jej elementy mają swój wkład w realizację wszystkich czynności, które sieć realizuje. Jedną z konsekwencji takiego działania sieci jest jej zdolność do poprawnego działania nawet po uszkodzeniu znacznej części wchodzących w jej skład elementów.

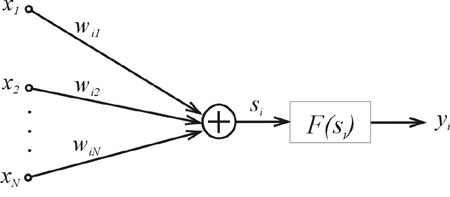
Struktura sieci powstaje w ten sposób, że wyjścia jednych neuronów łączy się z wejściami innych. Oczywiście konkretna topologia sieci powinna wynikać z rodzaju zadania, jakie jest stawiane przed siecią. Jednak decyzje dotyczące struktury sieci nie wpływają na jej zachowanie w stopniu decydującym. Zachowanie sieci w zasadniczy sposób determinowane jest przez proces jej uczenia, a nie przez strukturę czy liczbę użytych do jej budowy neuronów.

Znane są doświadczenia, w których strukturę sieci wybierano w sposób całkowicie przypadkowy (ustalając na drodze losowania, które elementy należy ze sobą połączyć i w jaki sposób), a sieć mimo to zdolna była do rozwiązywania stawianych jej zadań.

Sieci neuronowe mogą całą swoją wiedzę zyskiwać wyłącznie w trakcie nauki i nie muszą mieć z góry zadanej, dopasowanej do stawianych im zadań, jakiejkolwiek precyzyjnie określonej struktury. Sieć musi jednak mieć wystarczający stopień złożoności, żeby w jej strukturze można było w toku uczenia "wykrystalizować" potrzebne połączenia i struktury. Zbyt mała sieć nie jest w stanie nauczyć się niczego, gdyż jej "potencjał intelektualny" na to nie pozwala - rzecz jednak nie w strukturze, a w liczbie elementów.

**Modele neuronów**

Na podstawie zasad działania rzeczywistego neuronu stworzono wiele modeli matematycznych, w których uwzględnione zostały w większym lub mniejszym stopniu właściwości rzeczywistych komórek nerwowych. Schemat obwodowy powiązany z większością tych modeli odpowiada modelowi McCullocha-Pittsa.



**Rys. Schemat budowy pojedynczego neuronu**

Jego działanie jest następujące:

Do wejść doprowadzane są sygnały dochodzące z neuronów warstwy poprzedniej. Każdy sygnał xj mnożony jest przez odpowiadającą mu wartość liczbową zwaną wagą wij. Wpływa ona na percepcję danego sygnału wejściowego i jego udział w tworzeniu sygnału wyjściowego przez neuron. Zsumowane iloczyny sygnałów i wag stanowią argument funkcji aktywacji neuronu f(si).

**Zastosowanie sieci neuronowych**

Trudno wymienić wszystkie aktualnie spotykane zastosowania sieci neuronowych. Oto niektóre z nich.

**... w technice**

Do dziś najczęstszym spotykanym obszarem zastosowań technicznych sieci neuronowych są zagadnienia rozpoznawania, a zwłaszcza problem rozpoznawania kontekstowego. Sieci neuronowe stosuje się także do zadań klasyfikacji oraz do analizy obrazów i ich przetwarzania. Wyróżnić można tu kompresję, segmentację, odtwarzanie oraz rozumienie obrazów. Aby sklasyfikować i rozpoznawać wzorce, sieć uczy się ich podstawowych cech takich jak: odwzorowania geometryczne, pikselowego układu wzorca, rozkładu składników głównych wzorca, składników transformacji Fouriera czy innych jego właściwości. W uczeniu podkreślane są różnice występujące w różnych wzorcach.

Kolejna dziedziną zastosowań jest wykorzystanie sieci neuronowych do klasycznych zadań przetwarzania sygnałów, takich jak konwersje, filtracje i aproksymacje oraz inne odwzorowania i transformacje. Coraz więcej prac opisuje struktury takich sieci i ich zastosowanie.

Inne, często spotykane, zastosowania sieci neuronowych dotyczą robotyki, automatyki, a także teorii sterowania i zagadnień optymalizacji, percepcji ruchu i jego planowania. W zagadnieniach identyfikacji i sterowania procesami dynamicznymi sieć neuronowa pełni zwykle kilka funkcji. Stanowi model nieliniowy tego procesu, pozwalający na wypracowanie odpowiedniego sygnału sterującego. Pełni również funkcje układu śledzącego i nadążnego, adaptując się do zmiennych warunków środowiskowych. Ważna rolę, zwłaszcza w sterowaniu robotów, odgrywa funkcja klasyfikatora wykorzystywana w podejmowaniu decyzji, co do dalszego przebiegu procesu.

Sieci neuronowe stosowane są do zbudowania pamięci asocjacyjnej, zwłaszcza duże zainteresowanie budzi klasa tak zwanych dwukierunkowych pamięci asocjacyjnych BAM. W zadaniach asocjacji sieć neuronowa pełni role pamięci skojarzeniowej. W przypadku pamięci asocjacyjnej, skojarzenie dotyczy tylko poszczególnych składników wektora wejściowego. W pamięci heteroasocjacyjnej zadaniem sieci jest skojarzenie ze sobą dwóch wektorów. Gdy na wejście będzie podany wektor odkształcony, sieć neuronowa jest w stanie odtworzyć wektor oryginalny, pozbawiony szumów.

**... w ekonomii**

Sieci neuronowe mają liczne i różnorodne zastosowania poza techniką np.w ekonomii. Oto ważniejsze kierunki tych zastosowań.

Sieci neuronowe są wykorzystywane do przewidywania pewnych określonych rozwiązań na podstawie danych początkowych. Przykładami mogą być wszelkiego rodzaju prognozy ekonomiczne np. przewidywania bessy i hossy na giełdzie.

Sieci mogą klasyfikować na podstawie danych bilansowych czy dane przedsiębiorstwo należy do zwyżkujących gospodarczo czy też może przeżywa stagnację lub regres. Można klasyfikować, w które branże warto inwestować lub który region może być zagrożony bezrobociem.

Dzięki zdolnościom adaptacji, sieci wykorzystuje się do procesów wnioskowania na podstawie zgromadzonych danych. Ułatwiają one managerom wykrywanie istotnych powiązań i ważnych aspektów.

Analiza danych prowadzona z wykorzystaniem sieci pozwala na ustalenie np. przyczyn niepowodzeń określonych przedsięwzięć podejmowanych w przeszłości, dzięki czemu łatwiejsze jest unikanie błędów na przyszłość.

Optymalizacja - sieci poszukują rozwiązań prowadzących do optymalnych decyzji gospodarczych. Sieć taka może rozwiązać np. klasyczne zadanie zwane problemem komiwojażera.

Mimo ogromnej liczby zastosowań sieci neuronowych, możliwości ich dalszego wykorzystania w przetwarzaniu sygnałów są jeszcze nie do końca zbadane i wydaje się, że będą one jeszcze przez wiele lat stanowić o postępie w technice informacyjnej. Prace nad dalszymi zastosowaniami trwają...

<http://www.kik.pcz.czest.pl/nn/wlasnosci.php>

www.uci.agh.edu.pl/dydaktyka/**sieci**\_**neuronowe**/doc/praca.doc

2.3 Opis działania neuronu

Sztuczne neurony charakteryzują się występowaniem wielu wejść i jednego wyjścia. Sygnały wejściowe xi (i = 1, 2, . . . , n) oraz sygnał wyjściowy y mogą przyjmować wartości, odpowiadające pewnym informacjom. W ten sposób zadanie sieci sprowadzone do funkcjonowania jej podstawowego elementu polega na tym, że neuron przetwarza informacje wejściowe xi na pewien wynik y. Neurony traktować można jako elementarne procesory o następujących właściwościach:

• każdy neuron otrzymuje wiele sygnałów wejściowych i wyznacza na ich podstawie swoją odpowiedź to znaczy jeden sygnał wyjściowy;

• z każdym oddzielnym wejściem neuronu związany jest parametr nazywany wagą ( określa stopień ważności informacji docierających tym właśnie wejściem - na wyjście ma wpływ waga przemnożona przez wejście);

• sygnał wchodzący określonym wejściem jest najpierw przemnażany przez wagę danego wejścia, w związku z czym w dalszych obliczeniach uczestniczy już w formie zmodyfikowanej: wzmocnionej (gdy waga jest większa od 1) lub stłumionej (gdy waga ma wartość mniejszą od 1) względnie nawet przeciwstawnej w stosunku do sygnałów z innych wejść gdy waga ma wartość ujemną (tzw. wejścia hamujące);

• sygnały wejściowe (przemnożone przez odpowiednie wagi) są w neuronie sumowane, dając pewien pomocniczy sygnał wewnętrzny nazywany czasem łącznym pobudzeniem neuronu (w literaturze angielskiej net value);

• do tak utworzonej sumy sygnałów dodaje niekiedy (nie we wszystkich typach sieci) pewien dodatkowy składnik niezależny od sygnałów wejściowych, nazywany progiem (w literaturze angielskiej bias);

• suma przemnożonych przez wagi sygnałów wewnętrznych z dodanym (ewentualnie) progiem może być bezpośrednio traktowana jako sygnał wyjściowy neuronu ( w sieciach o bogatszych możliwościach sygnał wyjściowy neuronu obliczany jest za pomocą pewnej nieliniowej zależności między łącznym pobudzeniem a sygnałem wyjściowym);

Każdy neuron dysponuje pewną wewnętrzną pamięcią (reprezentowaną przez aktualne wartości wag i progu) oraz pewnymi możliwościami przetwarzania wejściowych sygnałów w sygnał wyjściowy.

Z powodu bardzo ubogich możliwości obliczeniowych pojedynczego neuronu - sieć neuronowa może działać wyłącznie jako całość. Wszystkie możliwości i właściwości sieci neuronowych są wynikiem kolektywnego działania bardzo wielu połączonych ze sobą elementów (całej sieci, a nie pojedynczych neuronów).

2.4 Uczenie sieci neuronowych

Cykl działania sieci neuronowej podzielić można na etap nauki, kiedy sieć gromadzi informacje potrzebne jej do określenia, co i jak ma robić, oraz na etap normalnego działania (nazywany czasem także egzaminem), kiedy w oparciu o zdobytą wiedzę sieć musi rozwiązywać konkretne nowe zadania. Możliwe są dwa warianty procesu uczenia : z nauczycielem i bez nauczyciela.

2.4.1 Uczenie z nauczycielem

Uczenie z nauczycielem polega na tym, że sieci podaje się przykłady poprawnego działania, które powinna ona potem naśladować w swoim bieżącym działaniu (w czasie egzaminu). Przykład należy rozumieć w ten sposób, że nauczyciel podaje konkretne sygnały wejściowe i wyjściowe, pokazując, jaka jest wymagana odpowiedź sieci dla pewnej konfiguracji danych wejściowych. Mamy do czynienia z parą wartości - przykładowym sygnałem wejściowym i pożądanym (oczekiwanym) wyjściem, czyli wymaganą odpowiedzią sieci na ten sygnał wejściowy. Zbiór przykładów zgromadzonych w celu ich wykorzystaniu w procesie uczenia sieci nazywa się zwykle ciągiem uczącym. Zatem w typowym procesie uczenia sieć otrzymuje od nauczyciela ciąg uczący i na jego podstawie uczy się prawidłowego działania, stosując jedną z wielu znanych dziś strategii uczenia.

2.4.2 Uczenie bez nauczyciela

Obok opisanego wyżej schematu uczenia z nauczycielem występuje też szereg metod tak zwanego uczenia bez nauczyciela (albo samouczenia sieci). Metody te polegają na podawaniu na wejście sieci wyłącznie szeregu przykładowych danych wejściowych, bez podawania jakiejkolwiek informacji dotyczącej pożądanych czy chociażby tylko oczekiwanych sygnałów wyjściowych. Odpowiednio zaprojektowana sieć neuronowa potrafi wykorzystać same tylko obserwacje wejściowych sygnałów i zbudować na ich podstawie sensowny algorytm swojego działania - najczęściej polegający na tym, że automatycznie wykrywane są klasy powtarzających się sygnałów wejściowych i sieć uczy się (spontanicznie, bez jawnego nauczania) rozpoznawać te typowe wzorce sygnałów.

Samouczenie jest też bardzo interesujące z punktu widzenia zastosowań, gdyż nie wymaga żadnej jawnie podawanej do sieci neuronowej zewnętrznej wiedzy , a sieć zgromadzi wszystkie potrzebne informacje i wiadomości.

2.5 Organizacja uczenia sieci

Kluczowym pojęciem dla uczenia sieci są wagi wejść poszczególnych neuronów. Każdy neuron ma wiele wejść, za pomocą których odbiera sygnały od innych neuronów oraz sygnały wejściowe podawane do sieci jako dane do obliczeń. Z wejściami tymi skojarzone są parametry nazywane wagami; każdy sygnał wejściowy jest najpierw przemnażany przez wagę, a dopiero później sumowany z innymi sygnałami. Jeśli zmienią się wartości wag - neuron zacznie pełnić innego rodzaju funkcję w sieci, a co za tym idzie - cała sieć zacznie inaczej działać. Uczenie sieci polega więc na tym, by tak dobrać wagi, żeby wszystkie neurony wykonywały dokładnie takie czynności, jakich się od nich wymaga.

Ze względu na rozmiar sieci (w wielu wypadkach mamy do czynienia z b. dużą liczbą neuronów) niemożliwe jest zdefiniowanie potrzebnych wag dla wszystkich wejść w sposób jednorazowy i arbitralny ręcznie. Można jednak zaprojektować i zrealizować proces uczenia polegający na rozpoczęciu działania sieci z pewnym przypadkowym zestawem wag i na stopniowym polepszaniu tych wag. W każdym kroku procesu uczenia wartości wag jednego lub kilku neuronów ulegają zmianie, przy czym reguły tych zmian są tak pomyślane, by każdy neuron sam potrafił określić, które ze swoich wag ma zmienić, w którą stronę (zwiększenie lub zmniejszenie) a także o ile. Oczywiście przy określaniu potrzebnych zmian wag neuron może korzystać z informacji pochodzących od nauczyciela (o ile stosujemy uczenie z nauczycielem), nie zmienia to jednak faktu, że sam proces zmiany wag (będących w sieci jedynym śladem pamięciowym) przebiega w każdym neuronie sieci w sposób spontaniczny i niezależny dzięki czemu może być realizowany bez konieczności bezpośredniego stałego dozoru ze strony osoby sterującej tym procesem.

W praktycznych zastosowaniach korzysta się czasem z dodatkowego mechanizmu "rywalizacji" między neuronami, który w niektórych zastosowaniach pozwala uzyskiwać znacznie lepsze wyniki działania sieci. Zaobserwowanie działania sieci z rywalizacją (competition network) możliwe jest po wprowadzeniu do sieci elementu porównującego ze sobą sygnały wyjściowe wszystkich neuronów i typującego wśród nich "zwycięzcę". Zwycięzcą w tej konkurencji zostaje neuron o największej wartości sygnału wyjściowego. Z wytypowaniem "zwycięzcy" mogą wiązać się różne konsekwencje (na przykład tylko temu jednemu neuronowi można nadać prawo uczenia się (sieci Kohonena), najczęściej jednak wytypowanie zwycięzcy służy do tego, by silniej spolaryzować wyjściowe sygnały z sieci - na przykład tylko neuron będący "zwycięzcą" ma prawo wysłać swój sygnał na zewnątrz, wszystkie pozostałe sygnały są natomiast zerowane. Taka zasada działania sieci, nazywana czasem WTA (Winner Takes All - zwycięzca zabiera wszystko) pozwala łatwiej interpretować zachowanie sieci (szczególnie wtedy, gdy ma ona wiele wyjść), ale niesie ze sobą pewne niebezpieczeństwa (wzmiankowane wyżej).