ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1992

Seria: ELEKTRYKA z. 127 Nr kol. 1169

Roman JANICZEK

KIERUNKI ROZWOJU WYBRANYCH METOD SZTUCZNEJ INTELIGENCJI STOSOWANYCH W ELEKTROENERGETYCE

Streszczenie. W artykule scharakteryzowano podstawowe metody sztucznej inteligencji, tzn. systemy ekspertowe i sieci neuronowe oraz podano przykłady ich praktycznego zastosowania w elektroenergetyce USA. Przedstawiono trend rozwoju tych metod ku tworzeniu systemów hybrydowych, aż po sieci ekspertowe włącznie.

DEVELOPMENT DIRECTIONS OF APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS TO POWER ENGINEERING

Summary. This paper describes current trends in application of the artificial intelligence methods (expert systems and neural networks) to power engineering in the USA. The trends of these methods development are presented, and their tendencies towards creating the hybrid systems, including expert networks, are shown.

НАПРАВЛЕНИЯ В РАЗВИТИИ ПРИМЕНЕНИЙ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОЙ ИНТЕЛИГЕНЦИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Резюме. В статье дана характеристика основных методов искусственной интелигенции, т.е. экспертных систем и нейроновых сетей и приведены примеры их практического применения в электроэнергетике США. Представлено стремление в развитии этих методов к созданию гибридных систем, вплоть по экспертные сети.

1. PODSTAWOWE POJĘCIA

Problem modelowania procesów myślowych człowieka rozważano od dziesiątków lat, ale dopiero technika komputerowa stworzyła warunki do powstania nowej dyscypliny naukowej zwanej sztuczną inteligencją (AI - artificial intelligence). W minionym dwudziestoleciu zaobserwowano szybki rozwój tej dyscypliny, powstawanie nowych jej kierunków, a ostatnio lawinowy wzrost zastosowań praktycznych metod AI. Okazało się przy tym, że właściwości systemu elektroenergetycznego i jego elementów sprzyjają efektywnemu

wdrażaniu tych metod. W artykule na podstawie najnowszej literatury zagranicznej starano się przedstawić możliwe role i kierunki rozwoju metod AI w zakresie elektroenergetyki. Ponieważ w krajowej elektroenergetyce metody te są słabo znane i brak ujednoliconej nomenklatury, w artykule podano również podstawowe pojęcia i ich nazwy angielskie.

Podstawowe w omawianej dziedzinie metody AI, to: systemy ekspertowe (ES - expert systems) i sztuczne sieci neuronowe (ANN - artificial neural network).

Systemy ekspertowe (ES) – to systemy komputerowe (sprzęt i oprogramowanie), które użytkują techniki symboliczne i logiczne do pozyskiwania i gromadzenia wiedzy ludzkich ekspertów by wykorzystywać ją w miejscu i czasie kiedy eksperci nie są osiągalni. Wiedzę tę można bez kłopotu wykorzystywać w dowolnej chwili, rozbudowywać, udoskonalać i powielać.

Sztuczne sieci neuronowe (ANN) oparte są na modelu struktury układu łączącego wiele elementów, odpowiedników neuronów w ludzkim mózgu. Każdy z elementów otrzymuje sygnał z innych, a równocześnie generuje sygnały do następnych elementów. Symulacja cyfrowa działania sieci neuronowej polega na operacjach na macierzach, które mogą być obecnie realizowane z dużą szybkością.

W ostatnich latach w literaturze światowej zaobserwować można wyraźną tendencję do tworzenia metod hybrydowych łączących powyższe techniki i wykorzystujących najnowsze osiągnięcia techniki (np. multimedia techniques) i nauki, jak np. teoria zbiorów rozmytych (FS-fuzzy sets). Metody FS stosowane są dla systemów wieloparametrowych, niedeterministycznych, silnie nieliniowych lub zbyt trudnych do zamodelowania. Logika "rozmyta" opiera się na heurystycznym wartościowaniu wejść i różni się istotnie od tradycyjnej binarnej logiki cyfrowej.

2. SYSTEMY EKSPERTOWE

2.1. Budowa i działanie

ES należą do klasy tzw. systemów z bazą wiedzy (knowledge - based systems), opartej na specjalistycznej wiedzy ekspertów. Zawartość bazy wiedzy decyduje zwykle o jakości ES, a stworzenie bazy wiedzy jest podstawowym problemem przy konstruowaniu ES. Wiedzę można reprezentować w bazie za pomocą różnych nieformalnych technik (sieci semantyczne, ramy, scenariusze itp.) lub według reguł logiki formalnej. W praktyce najczęściej wykorzystuje się prezentację wiedzy w postaci reguł:

IF <warunki> THEN <konkluzje 1> ELSE <konkluzje 2>

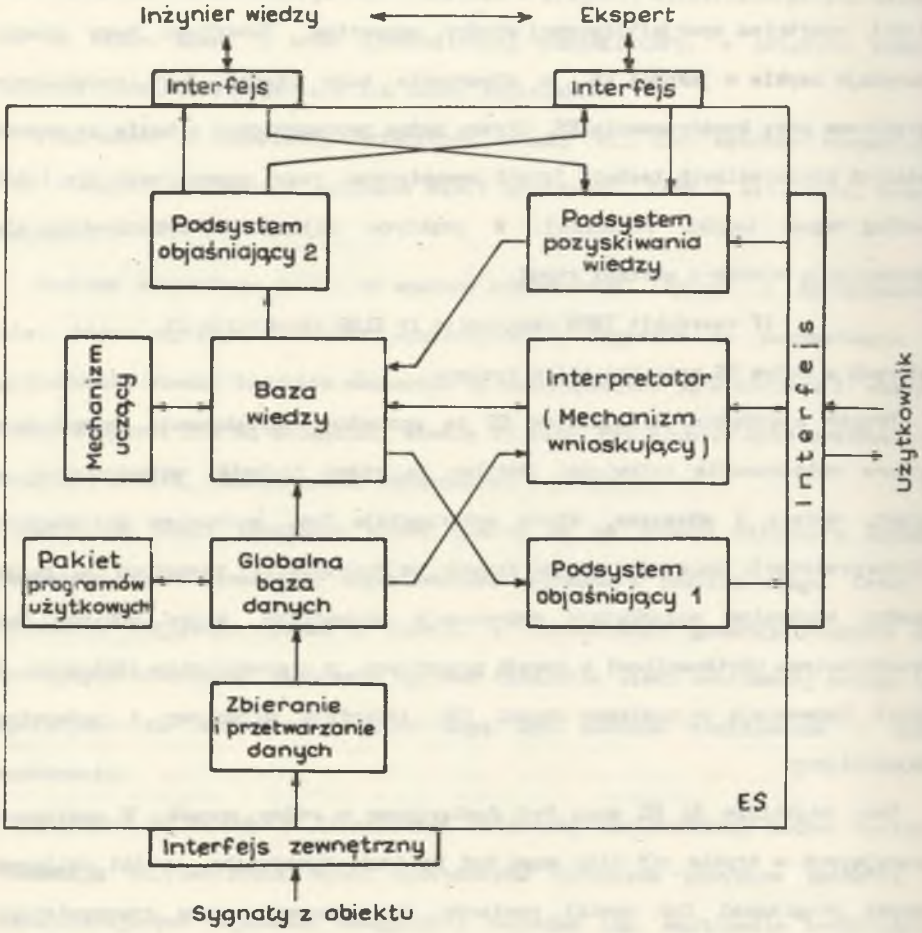
których w dużym ES może być kilka tysięcy.

Drugim niezbędnym składnikiem ES są procedury wnioskowania, symulujące proces wnioskowania człowieka. Możliwe są różne techniki wnioskowania: w przód, wstecz i mieszane, które wykorzystuje tzw. mechanizm wnioskujący (interpretator). Opierając się na danych wejściowych i zawartych w bazie wiedzy, mechanizm wnioskujący wypracowuje ekspertyzę, która powinna być przedstawiona użytkownikowi w sposób przystępny, z uzasadnieniem (dlaczego i jak?). Zapewniają to następne części ES: interfejs wyjściowy i podsystem objaśniający.

Dane wejściowe do ES mogą być dostarczane w różny sposób. W systemach pracujących w trybie off-line mogą być to dane użytkownika, wyniki obliczeń innymi programami lub wyniki pomiarów. W systemach czasu rzeczywistego (real time ES) dane wejściowe są to przetworzone sygnały pomiarowe z obiektu (rys. 1).

2.2. Problemy tworzenia ES

Pomimo że tworzenie nowego ES uważa się ciągle raczej za sztukę niż rutynową działalność, to jednak w literaturze znaleźć można wiele wskazówek i zasad wynikających z dotychczasowych doświadczeń. Przede wszystkim zwraca się



Rys. 1. Struktura systemu ekspertowego pracującego w trybie on-line
Fig. 1. Structure of the on-line expert system

uwagę, że jest to proces odmienny od stosowanego przy budowie innych systemów. Za szczególnie ważne uważa się dokładne zdefiniowanie problemu, wybór odpowiednich narzędzi, budowę i testowanie prototypu, po którym można dopiero przystąpić do projektowania i wdrażania ES.

Jako narzedzia programowe stosuje się:

- języki symboliczne, np. LISP, Prolog (ale również Fortran, C, Pascal),
- systemy skorupowe (shell), tzn. ES z pustą bazą wiedzy i danych,
- metasystemy do komputerowego wspomagania projektowania i budowy ES w zakresie wyboru sposobu prezentacji wiedzy, pomocy w założeniu bazy wiedzy, wyboru sposobu wnioskowania itp.

Za podstawową cechę ES uważa się konieczność oparcia się na doświadczeniu ekspertów, ale w zamian zapisaną już w ES wiedzę można wielokrotnie wykorzystywać, również do objaśniania proponowanych przez ES "ekspertyz".

2.3. Zastosowania ES w elektroenergetyce

Zakres zastosowań ES jest bardzo szeroki, chociaż nie w pełni jeszcze odkryty i wykorzystany. Ogólnie można powiedzieć, że ES stosować można jako systemy doradcze przy podejmowaniu decyzji dotyczących złożonych problemów, trudnych do sformalizowania matematycznego i zalgorytmizowania. Inaczej mówiąc - wszędzie tam, gdzie decyzje powinno się podejmować opierając się na wiedzy ekspertów. Problemów tego typu jest w elektroenergetyce sporo.

W zastosowaniach off-line ES mogą realizować zadania związane z planowaniem i programowaniem rozwoju i eksploatacji systemu elektroenergetycznego, projektowaniem układów, modelowaniem i analizą układów, kształceniem personelu (inteligentne symulatory) itp. Dotychczas najczęściej wdraża się systemy doradcze sprzęgnięte bezpośrednio z obiektem, które wg pracy [2] realizują najczęściej następujące funkcje:

- inteligentnego monitoringu (35,7% zastosowań ES), obejmującego głównie diagnozę stanu obiektu i zakłóceń, selekcję i analizę alarmów, predykcję zdarzeń,
- doradztwa w zakresie sterowań (27,6%) w normalnych stanach pracy (operacje łączeniowe, regulacja napięcia), podczas zagrożeń (nadzór bezpieczeństwa pracy) i po awariach (odbudowa stanu).

W pracy [3] wymienia się nowe zakresy zastosowań ES, dotyczące m.in.:

- zintegrowanej, inteligentnej automatyki stacji elektroenergetycznej,
- inteligentnych zabezpieczeń cyfrowych,
- kompleksowej kontroli i sterowania parametrów generatora.

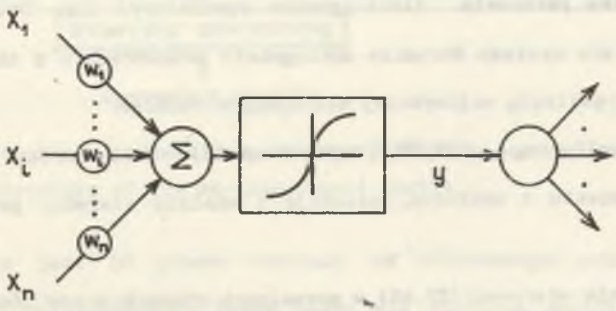
W pracy [1] opisano, oprócz ES przeanalizowanych w pracach [2 i 3], kilka innych przeznaczonych dla systemowych dyspozytorów mocy i personelu elektrowni, opracowanych w USA, Francji, Niemczech i byłym ZSRR. W USA pojawiły się już przenośne ES, np. opisany w pracy [5] system Savant, zwany "ekspertem w walizce", które mogą odegrać dużą rolę w prawidłowej diagnostyce stanu technicznego urządzeń.

W pracy [1] opracowano również założenia ogólne ES w celu wspomagania pracy dyspozytorów elektroenergetycznych na różnych szczeblach systemu elektroenergetycznego oraz przeprowadzono próby stworzenia przykładowego ES za pomocą trzech systemów skorupowych, opisanych w innym artykule.

3. SIECI NEURONOWE

3.1. Zasady działania

Sieci ANN wykorzystują mechanizm działania neuronu przedstawiony poglądowo na rys. 2. Neuron przetwarza sygnały wejściowe x_i (i=1,2,...,n) o wadze w_i w



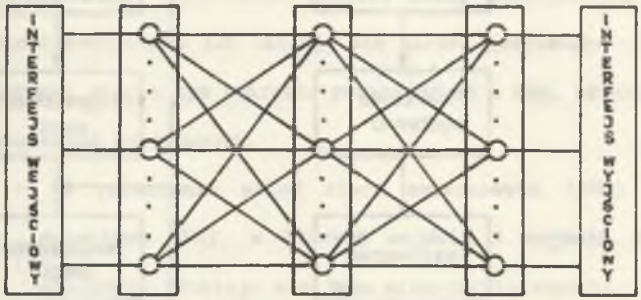
Rys. 2. Mechanizm działania sztucznego neuronu

Fig. 2. Mechanism of an Artificial Neuron

skalarną wielkość y, wyznaczaną za pomocą monotonicznej nieliniowej funkcji przejścia wg zależności

$$y = f(x_1 w_1 + x_2 w_2 + \ldots + x_n w_n)$$

Informacje te trafiają do innych neuronów w sieci, gdzie podlegają dalszemu przetworzeniu. Zwykle w praktyce rozważa się ANN o strukturze trójwarstwowej pokazanej na rys. 3. Neurony warstwy pośredniej przetwarzają sygnały z neuronów warstwy wejściowej i przekazują wyniki do neuronów warstwy wyjściowej.

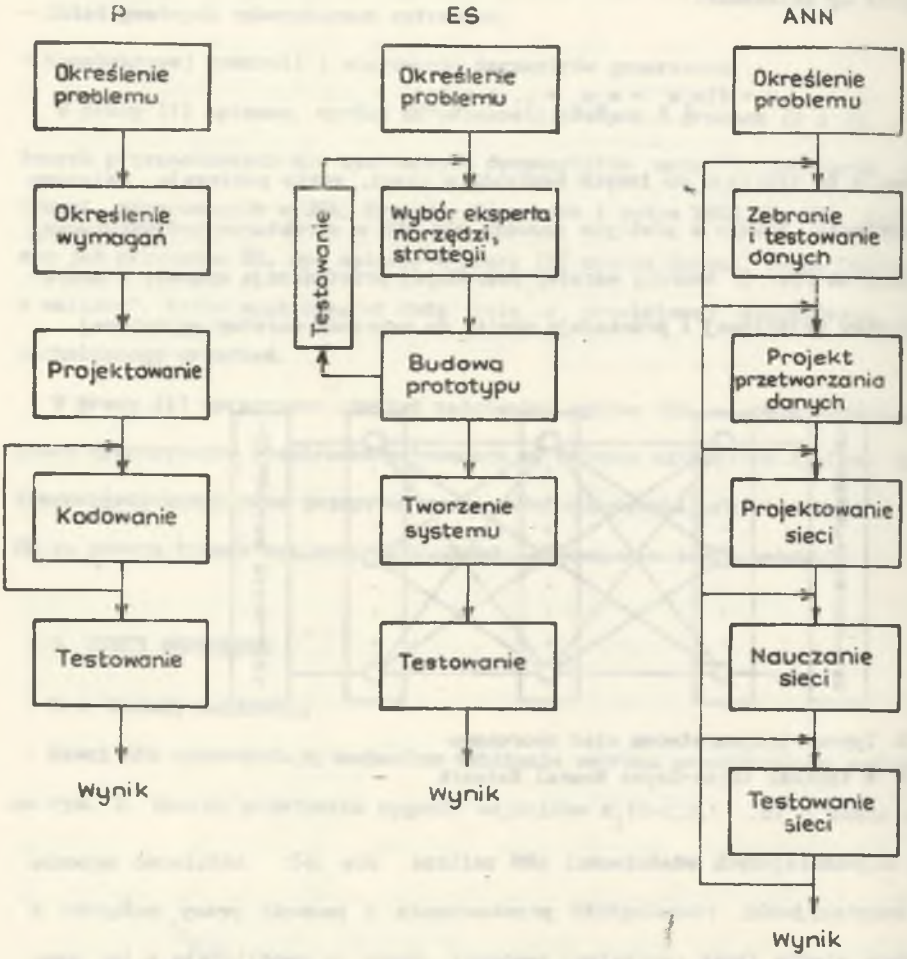


Rys. 3. Typowa trójwarstwowa sieć neuronowa
Fig. 3. A typical three-layer Neural Network

Do najważniejszych właściwości ANN zalicza się [6]: możliwość uczenia się, adaptacyjność, równoległość przetwarzania i pewność pracy związana z rozłożoną wiedzą (brak centralnej pamięci). Cechy te umożliwiają m.in. tworzenie modeli złożonych nieliniowych procesów i rozwiązywanie problemów optymalizacyjnych o dużych rozmiarach. Dane o wejściach i wyjściach procesu używane są zamiast do budowy modelu analitycznego do "nauczania sieci". Tak stworzony model (ANN) może być wykorzystywany następnie do rożnych celów aplikacyjnych.

W odróżnieniu od ES, przy budowie ANN nie jest wymagana wiedza ekspertów, ale w zamian traci się możliwośc objaśniania wyników działania ANN. Proces

tworzenia ANN przebiega oddmiennie niż ES (rys. 4) i jest znacznie mniej czasochłonny.



Rys. 4. Schemat tworzenia klasycznego programu komputerowego (P), systemu ekspertowego (ES) i sztucznej sieci neuronowej (ANN)

Fig. 4. Computer program (P), expert system (ES) and neural network (ANN) project development procceses

3.2. Zastosowanie ANN w elektroenergetyce

W pracy [6] opisano przykłady zastosowań do ANN do:

- identyfikacji parametrów modelu elektrowni dla celów regulacji adaptacyjnej

i funkcji diagnostycznych,

- modelowanie procesów,
- planowanie obciążeń systemu elektroenergetycznego,
- ekonomicznego rozdziału obciążeń pomiędzy elektrownie [7],
- oceny bezpieczeństwa systemu elektroenergetycznego.

W pracy [8] opisano wykorzystanie ANN do pomiarowej weryfikacji wzorcowania aparatury kontrolno-pomiarowej i zabezpieczającej w elektrowni jądrowej.

4. SYSTEMY HYBRYDOWE

Ze względu na wymienione powyżej cechy podstawowych metod sztucznej inteligencji połączenie ich okazuje się bardzo pożyteczne. Poniżej przedstawiono kierunki prac w tym zakresie prowadzonych w USA, używając stosowane tam oznaczenia metod hybrydowych.

FANN - to połączenie metod sieci neuronowych (ANN) i logiki sieci rozmytych (FS), w których wejścia i wyjścia z ANN oraz inne wielkości traktuje się jako niedeterministyczne, zwykle w postaci dystrybuanty.

ES+FS - to wprowadzenie do systemu ekspertowego logiki zbiorów rozmytych.

ANN+ES, FANN+ES - to połączenie metod sieci neuronowych i systemów ekspertowych, w drugim przypadku w ujęciu niedeterministycznym.

Znane są cztery możliwości połączenia metod ANN i ES. Pierwsza - to podział problemu na zadania i powierzenie ich ANN, ES lub programom algorytmicznym, a następnie scalenie odpowiedzi. Drugi sposób to wbudowanie kilku ANN do ES. Trzeci - to równoległa współpraca ANN i ES, a czwarty polega na wykorzystaniu ANN jako sztucznego eksperta przy tworzeniu ES.

Z licznych przykładów praktycznego wykorzystania metod hybrydowych AI w artykule wymienia się tylko parę wybranych. W pracy [9] przedstawiono system opierający się o ANN+ES przeznaczony do monitoringu i diagnozy kotła parowego, umożliwiajacy m.in. dokładną kontrolę sprawności. Przewiduje się

objęcie nadzorem tym systemem całego bloku energetycznego. W pracy [10] opisano zastosowanie wszystkich trzech metod (ANN+ES+FS) do identyfikacji właściwości dynamicznych elektrowni jądrowych. W pracy [11] przedstawiono wykorzystanie FANN+ES do programowania pracy bloków energetycznych w okresie doby, a uzyskane wyniki porównano z osiąganymi przy zastosowaniu ANN+ES.

Wszystkie publikacje podkreślają zalety i efektywność systemów hybrydowych w zastosowaniach w elektroenergetyce, a zapewne nie tylko w tym zakresie, gdyż jak wynika z najnowszej publikacji [12], powstał nowy kierunek zastosowań AI nazwany sieciami ekspertowymi (EN - Expert Networks). Zwraca się uwagę, że połączenie ANN+ES sumuje zalety obu systemów, a równocześnie minimalizuje problemy występujące przy rozdzielnym ich wykorzystaniu. Inaczej mówiąc, EN dają możliwości nowych rozwiązań systemów doradczych, nieosiągalnych przy oddzielnym zastosowaniu ANN i ES.

LITERATURA

[1] Systemy ekspertowe dla komputerowych systemów wspomagania dyspozytorów elektroenergetycznych. Praca zbiorowa pod red. R. Janiczka (masznopis), Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej. Gliwice 1991.

[2] An international survey of the present status and the perspective of expert system on power system analysis and techniques. Electra nr 123, 1989.

[3] Zhang Z.Z., Hope C.S., Malik O.P.: Expert systems in electric power systems - a bibliographical survey. IEEE Transactions on Power Systems, nr 4/1989.

[4] Zieliński J.S.: Systemy ekspertowe w elektroeneretyce. Energetyka nr 2/1991.

[5] A moving experience for power-plant experts. Electrical Review, nr 28, 1989.

[6] Mathur A., Samad T.: Neural networks - a tutorial for the power industry. Proceedings of the American Power Conference, Chicago 1990.

[7] Wang C.Y., Ruyang Z., Shahidehpour S.M.: Unit commitment by neural networks. Proceedings of the American Power Conference, Chicago 1990.

[8] Ipakchi A., Khadem M. i in.: Neural Network applications to measurement calibration verification in power plants. Proceedings of the American Power Conference, Chicago 1991.

[9] Kraft T., Okagaki K. i in.: Hybrid Neural Net and Rule Based System for boiler monitoring and diagnosis. Proceedings of the American Power Conference, Chicago 1991.

[10] Tsoukalas L., Ikonomopoulos A., Uhrig R.E.: Hybrid Expert System - Neural Network methodology for transient identification. Proceedings of the American Power Conference, Chicago 1991.

[11] Wang C., Shahidehpour S.M.: Application of neural networks in generation scheduling with fuzzy data. Proceedings of the American Conference, Chicago 1991.

[12] Caudill M.: Expert Networks. Byte, vol.16, nr 10, 1991.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Jan Bujko

Wpynęło do redakcji dnia 3 lutego 1992 r.

DEVELOPMENT DIRECTIONS OF APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELIGENCE METHODS TO POWER ENGINEERING

A b s t r a c t

This paper presents an overview of the state and development of applications of the artificial intelligence techniques in electric power engineering.

The advanced computational techniques based on the human brain model include first of all expert systems, neural networks, and fuzzy logic. The expert systems (ES) are computer software and hardware systems (fig. 1) that use symbolic and logic techniques to capture the knowledge of the human expert, and make it accessible to a user at time and locations where the human expert may not be available. An artificial neural networks (ANN) are data processing systems (fig. 3) including a number of simple (fig. 2) highly interconnected processing elements in an architecture inspired by the

structure of the brain. The features of ANN are: self-learning by examples, distributed associative memory, fault tolerance, and pattern recognition. Fuzzy set (FS) virtues are a useful method in solving problems with an inherent imprecision.

Emerging methods marry ES, ANN, and FS techniques. The latest achievement is an expert network (EN) technology being an ES & ANN combination that has the capabilities of both systems while minizing the problems of each one.

For power plant and system operations as diverse as modelling, control, diagnostics, and monitoring, hybrid methodologies can provide substantial advantages against alternative computational techniques.