

Zastosowanie Algorytmu Genetycznego z Adaptacyjną Funkcją Celu do Projektowania Wybranych Planarnych Układów Mikrofalowych

Przemysław Miazga[#], Tomasz Cegielski^{*}, Jarosław Popkowski⁺

Instytut Radioelektroniki Politechniki Warszawskiej

email: # pjm@ire.pw.edu.pl, * T.Cegielski@ire.pw.edu.pl, + jpopkow@alfa.ire.pw.edu.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiona jest nowa metoda projektowania układów mikrofalowych z wykorzystaniem dwu-wymiarowego symulatora elektromagnetycznego oraz algorytmu genetycznego z adaptacyjną funkcją celu. Symulator elektromagnetyczny pozwala na obliczenie charakterystyk układu poprzez rozwiązanie równań Maxwella w danym obszarze dając wyniki bardzo zbliżone do danych pomiarowych. Pozwala to znacznie skrócić proces projektowania obwodu. Zastosowanie algorytmu genetycznego pozwala na bezpośrednie projektowanie kształtu obwodu bez konieczności jego parametryzacji i modelowania. Adaptacyjna funkcja celu znacznie polepsza zbieżność algorytmu.

1. Wstęp.

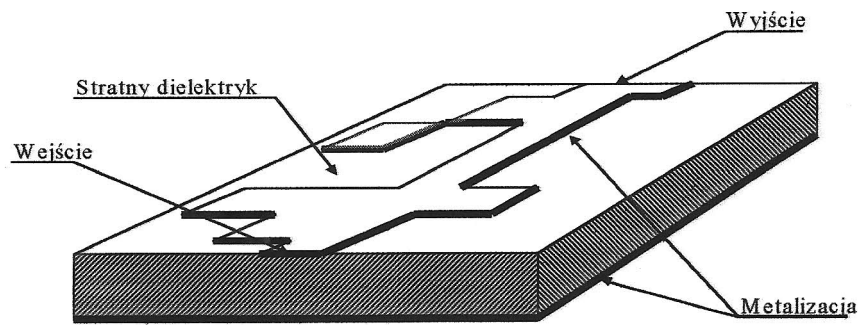
W prezentowanym referacie przedstawione został przykład zastosowania algorytmu genetycznego (AG) [1] do projektowania układów mikrofalowych. Prezentowane podejście do problemu różni się od dotychczas prezentowanych implementacji algorytmów ewolucyjnych [2], będących w zasadzie metodami optymalizacji parametrycznej, dzięki zastosowaniu symulatora elektromagnetycznego [3]. Symulator elektromagnetyczny oblicza na podstawie kształtu obwodu jego charakterystyki metodą różnic skończonych w dziedzinie czasu (metoda FD-TD [3]), zastępując czasochłonną i żmudną realizację oraz pomiary układów (tzw metoda cut and try). W pracy [4] A. John i R. H. Jansen zaproponowali rozwiązanie polegające na optymalizacji pewnych wybranych fragmentów układu traktując pozostały obszar jako stały. W prezentowanej implementacji optymalizowany jest cały obszar płytki. Niedeterministyczny charakter AG umożliwia wyjście poza ramy klasycznego podejścia do projektowania układów i generację zupełnie nowych rozwiązań.

2. Struktura obwodu i jej kodowanie.

Rysunek 1 przedstawia typowy planarny układ mikrofalowy wykonany w technice niesymetrycznej linii paskowej. Składa się on ze stratnego dielektryka pod spodem którego znajduje się warstwa metalu. Na powierzchni dielektryka nałożona jest warstwa metalu łącząca wejście z wyjściem. Rodzaj układu mikrofalowego (spełniane przez niego funkcje) jest zależny od kształtu i rozmiarów górnej struktury metalizacji. Właśnie ten kształt poddany zostanie procesowi optymalizacji.

Struktura układu jest zakodowana binarnie w genotypie. Cała płytka podzielona jest na elementarne, cząstkowe prostokąty o wymiarach zadanych przez projektanta. Dla polepszenia zbieżności siatka dyskretyzacji stosowana w genotypie jest stosunkowo rzadka - typowo 5x10

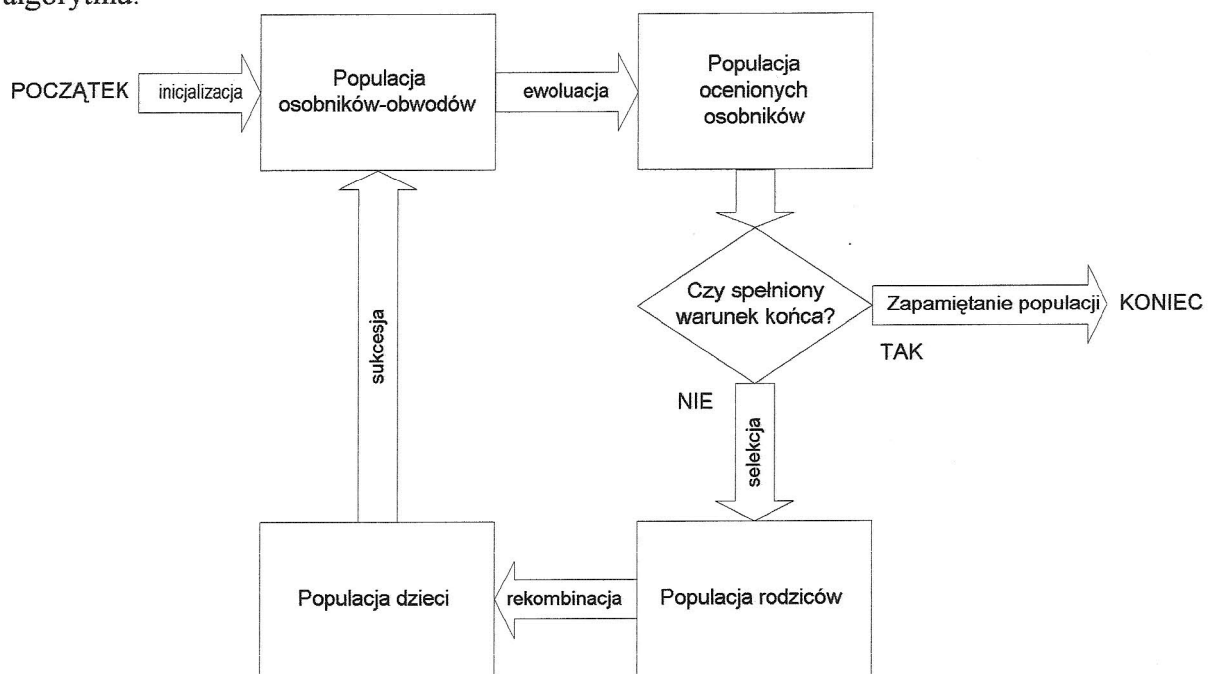
168 Przemysław Miazga, Tomasz Cegielski, Jarosław Popkowski
prostokątów. Poszczególne bity odpowiadają elementarnym komórkom genotypu. Każdy bit określa "stan" płytki: -1 brak metalizacji, 1- metalizacja.



Rys 1. Przykładowy układ mikrofalowy wykonany w technice niesymetrycznej linii paskowej.

3. Opis Algorytmu.

Do rozwiązania zadania zastosowano typowy AG ze zmodyfikowanymi operatorami (dwuwymiarowe operatory krzyżowania i mutacji). Na rys 2. przedstawiono działanie algorytmu.



Rys 2. Schemat działania algorytmu.

Parametry algorytmu.

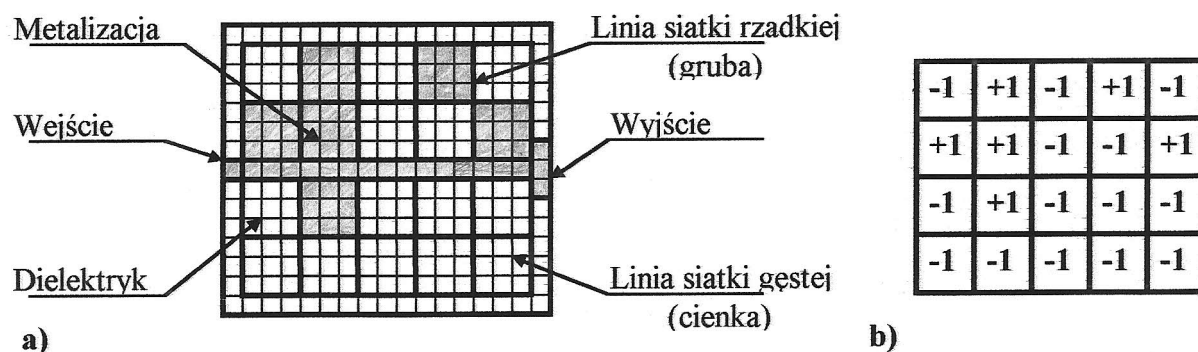
Głównym parametrem algorytmu jest liczność populacji. Pozostałe dotyczą rekombinacji: prawdopodobieństwa mutacji i krzyżowania, jego rodzaj; bądź przekształcenia genotypu w fenotyp jak: ilość i wielkość oczek, współczynniki podziału i wygładzania itp.

Inicjalizacja.

Osobniki populacji początkowej są generowane losowo.

Ewaluacja.

W pierwszym kroku przekształcamy genotyp w fenotyp. Aby móc przeprowadzić analizę symulatorem FD-TD należy zagęścić siatkę (konwersja genotyp-fenotyp). Ciąg bitów, którym jest genotyp jest zamieniany na siatkę gęstą przez podzielenie oczek na mniejsze. Siatka ta jest obramowywana oczkami zapewniającymi izolację od masy i przedzielona przez środek paskiem metalizacji zapewniającym kontakt pomiędzy wrotami zewnętrznymi obwodu. Przykład zagęszczenia układu przedstawiono na rysunku 3.



Rys 3. a) Przykład struktury obwodu z zaznaczeniem oczek siatki rzadkiej i gęstej;
b) genotyp układu.

W kolejnym etapie algorytm naprawy dokonuje modyfikacji kształtu, tj. usuwa wąskie szczeliny między oczkami i wygładza kontury metalizacji. Jako algorytm naprawy zastosowano symulację komórkowych sieci neuronowych opartych na propozycji L.O. Chua [5]. Każde oczko fenotypu traktujemy jako „komórkę” (o współrzędnych i, j), która ma połączenia jedynie z ze swoimi najbliższymi dziewięcioma sąsiadami i sobą (sąsiedztwo $n(i, j)$). Wartość każdej komórki w następnym kroku symulacji można wyliczyć ze wzoru:

$$y_{ij}(t) = \text{sgn}\left\{I + \sum_{k,l \in n(i,j)} [A_{kl}y_{i+k,j+l}(t-1) + B_{kl}y_{i+k,j+l}(0)]\right\}$$

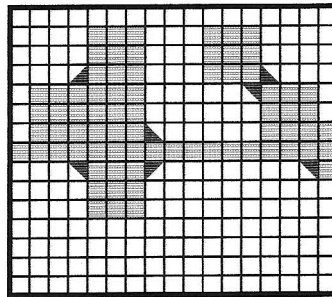
gdzie A i B są macierzami wag połączeń a I stałym przesunięciem.

Najlepszy efekt osiągnięto dla następujących macierzy wag:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 3 & 0 \\ 3 & 2 & 3 \\ 0 & 3 & 0 \end{bmatrix}; B = [0]; I = 2$$

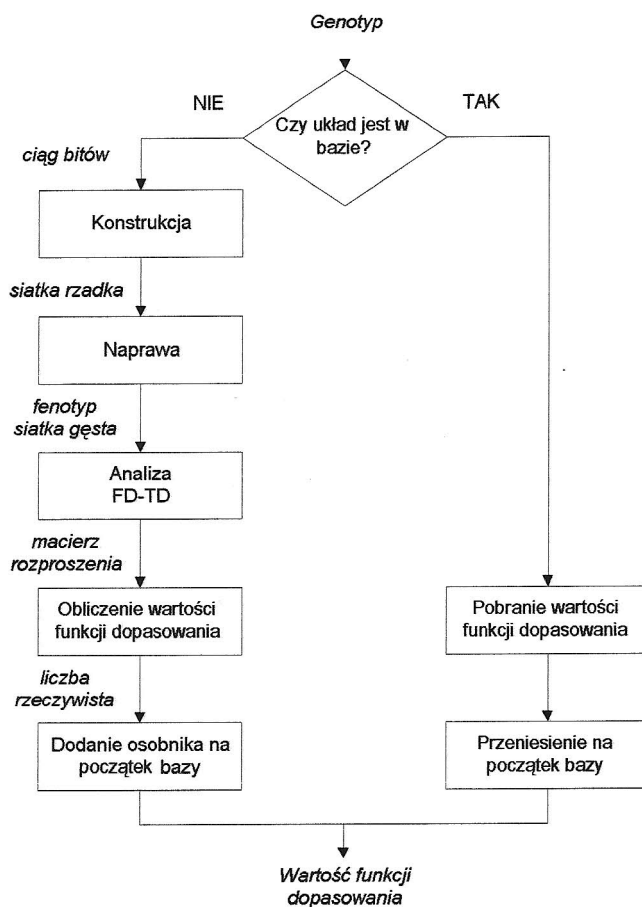
W wyniku działania tego algorytmu oprócz wartości oczek -1 (brak metalizacji) i 1 (metalizacja) pojawiają się również 0 oznaczające oczka ukośnie częściowo wypełnione metalizacją. Proces korekty kształtu może być przeprowadzany kilkakrotnie. Stopień wygładzenia kształtu zależy od ilości kroków algorytmu naprawy.

Kształt układu z rys. 3 przed i po jednokrotnym wygładzeniu jest przedstawiony na rys. 4. Dopiero taki układ jest poddawany symulacji FD-TD. Symulator elektromagnetyczny oblicza wartości elementów macierzy rozproszenia dla całego analizowanego pasma częstotliwości, w dyskretnych punktach częstotliwości. Funkcja celu jest normą L_p [1] (przy $p = 2$ lub 4) z odchylenia charakterystyki obliczonej od charakterystyki zadanej przez projektanta. Dodatkowo, funkcja celu może być skalowana.



Rys 4. Naprawa kształtu układu z rys 3. - pola szare: metalizacja przed naprawą; pola czarne: metalizacja dodana w trakcie algorytmu naprawy.

Z uwagi na długi czas trwania analizy FD-TD pojedynczego układu (do kilku minut), wprowadzona została baza wiedzy o dotychczas analizowanych osobnikach. Jeśli był już policzony osobnik o identycznym genotypie to ewaluacja polega tylko na pobraniu poprzednio policzonej wartości funkcji celu z bazy. Cały schemat wyliczenia wartości funkcji celu jest przedstawiony na rys. 5.



Rys 5. Przejście od genotypu do wartości funkcji celu.

Dla polepszenia zbieżności optymalizacji dla układów szerokopasmowych zastosowano adaptacyjną funkcję celu. Początkowo osobniki są oceniane na podstawie funkcji celu jedynie w środku pasma, dla wąskiego zakresu częstotliwości. Jeśli w generacji wystąpił osobnik wystarczająco dobry w tym wąskim paśmie, to w następnej generacji pasmo to jest

rozszerzane. W tym algorytmie zastosowano dyskretną wersję adaptacyjności, tzn. pasmo jest poszerzane skokowo o jeden punkt na początku i jeden punkt na końcu zakresu częstotliwości.

Warunek stopu.

Algorytm jest przerywany jeśli w określonej liczbie generacji nie wystąpił w populacji lepszy osobnik od najlepszego dotychczas policzonego.

Selekcja.

Selekcja osobników przeznaczonych do reprodukcji jest dokonywana proporcjonalnie metodą ruletki.

Rekombinacja- operatory genetyczne.

Mutacja polega na losowej zmianie kolejno każdego bitu genotypu, z określonym prawdopodobieństwem (rzędu tysięcznych).

Jest możliwość wybrania jednego z czterech różnych rodzajów krzyżowania:

- równomiernego;
- wzdłużnego, jest losowana linia podziału równoległa do osi wrota wejściowe- wrota wyjściowe, po jednej stronie tej linii bity genotypu pochodzą od rodzica pierwszego, po drugiej od rodzica drugiego;
- w poprzek, tak jak wyżej, tylko linia podziału jest prostopadła do osi;
- ukośnego, też jak wyżej, tym razem linia jest o losowym nachyleniu względem osi.

Sukcesja.

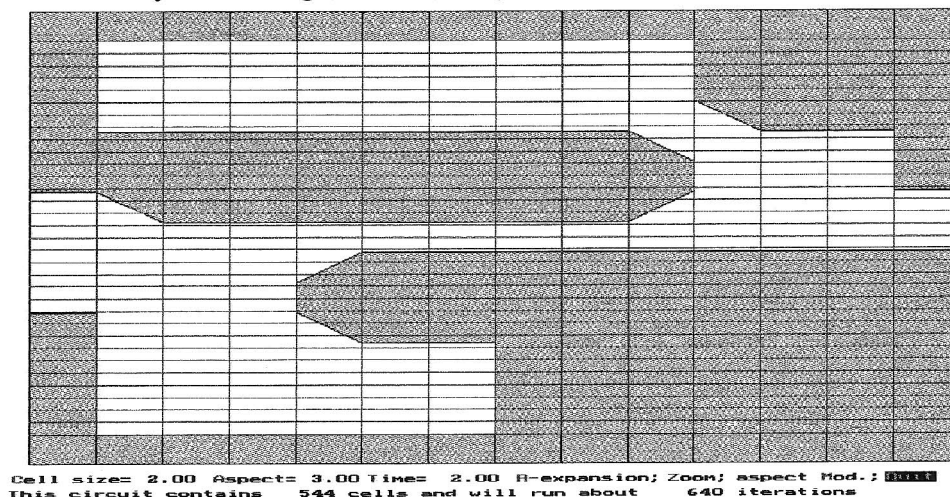
Zwiększany jest numer generacji. Populacja powstała w wyniku działania operatorów genetycznych jest gotowa do kolejnego cyklu.

4. Przykłady.

Przykład 1: Działanie algorytmu genetycznego bez zastosowania adaptacyjności.

Zostanie przedstawiony problem konstrukcyjny polegający na wykonaniu transformatora impedancji 50Ω na 75Ω działający w paśmie częstotliwości od 0.5 GHz do 2.5 GHz z wykorzystaniem płytki laminatu o $\epsilon=2.65$. Warunkiem końcowym optymalizacji było otrzymanie współczynnika odbicia sygnału wejściowego (współczynnik S_{11} w macierzy rozproszenia układu) na poziomie 0.1 i jak najlepszego przejścia sygnału przez układ (współczynnik S_{21} macierzy rozproszenia) tj. otrzymania sygnał wyjściowego na poziomie 0.9 mocy sygnału wchodzącego. Elementarne oczko siatki fenotypu miało rozmiar $0.5\text{mm} \times 0.33\text{mm}$. Zastosowano krzyżowanie równomierne. Prawdopodobieństwo mutacji wynosiło $1/1000$ a krzyżowania 1. Liczność populacji wynosiła 100 genotypów.

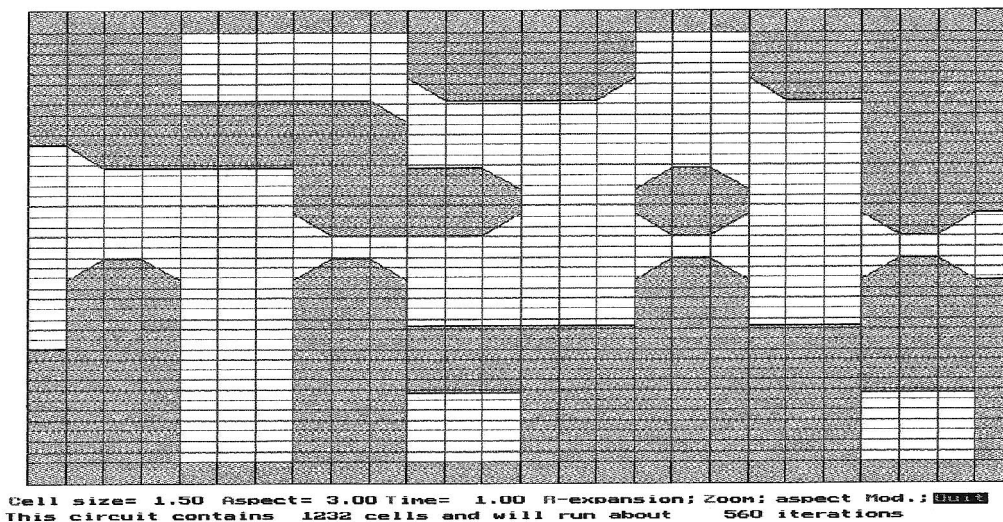
Po trwających około dwóch godzin obliczeniach (komputer PC oparty na procesorze Pentium 60MHz) uzyskano satysfakcjonujący efekt w postaci płytki przedstawionej na rysunku 6. Należy zwrócić uwagę, że kształt otrzymanej struktury nie jest "bezmyślny" tj. nie składa się z rozdrobnionych i odizolowanych prostokątów metalizacji lecz stanowi regularną całość. Wyraźnie widać linie o różnych szerokościach na wejściu i wyjściu oraz układy dopasowujące wejście i wyjście (ścieżki odchodzące od linii głównej są takimi strojnikami). Pod koniec działania populacja znajdowała się w stanie nasycenia, tzn. osobniki niewiele różniły się między sobą. Końcowe wymiary płytki wynosiły $14\text{mm} \times 13.6\text{mm}$. Obliczony klasyczną metodą transformator miał długość 89,73 mm. Wynika z tego że transformator wygenerowany jest tańszy, gdyż zużywa mniej materiału.



Rys. 6 Kształt transformatora impedancji 50Ω na 75Ω (kolor biały oznacza metalizację).

Przykład 2: Zastosowanie adaptacyjnej funkcji celu.

Zadanie polegało na zaprojektowaniu transformatora impedancji 50Ω - 100Ω działającego na częstotliwości środkowej 2.75 GHz w możliwie jak najbardziej szerokim paśmie. Algorytm starał się w danym zakresie częstotliwości zoptymalizować układ na jak najmniejsze odbicia sygnału wchodzącego (S_{11} mniejsze od 0.1). W przypadku znalezienia rozwiązania pasmo było poszerzane o 90 MHz (po 45 MHz z góry i z dołu). Parametry AG nie zostały zmienione w stosunku do przykładu 1 z wyjątkiem zmiany rodzaju krzyżowania na ukośne. Przy czwartym kroku poszerzania pasma otrzymano strukturę o rozmiarach 20.8mm X 16.8 mm pokazaną na rysunku 7. Już w trzecim kroku adaptacji można było zaobserwować fakt, że charakterystyki wszystkich osobników zawierały na pewnej częstotliwości nagły spadek wartości S_{11} poniżej 0.1. Obliczenia zakończyły się dla czwartego kroku adaptacji - szerszego pasma nie udało się uzyskać ze względu na wielkość płytki. Porównanie rozmiarów klasycznie zaprojektowanego transformatora (długość 131,19 mm) i wygenerowanego wypada wyraźnie na korzyść tego drugiego. Jest to jednoznaczne ze zmniejszeniem kosztu urządzenia (użycie mniejszej ilości materiału).



Rys. 7 Struktura transformatora impedancji 50Ω - 100Ω (kolor biały oznacza metalizację).

5. Podsumowanie:

Prezentowany AG pozwala na projektowanie nowych, niestandardowych układów mikrofalowych w technice niesymetrycznych linii paskowych. Zastosowanie adaptacyjnej funkcja celu z jednej strony daje wyraźną poprawę zbieżności, z drugiej strony pozwala na badanie właściwości szerokopasmowych układu. Zastosowanie bazy wiedzy dodatkowo przyspiesza działanie AG. Prezentowane przykłady projektów układów planarnych uwypuklają zalety metody. Zaprojektowane układy są w pełni realizowalne technologicznie i tańsze z uwagi na zmniejszenie kosztów materiałowych.

6. Literatura

- [1] D.E. Goldberg, „Algorytmy genetyczne i ich zastosowania”, *WNT Warszawa 1995*.
- [2] J. Arabas and P. Miazga "Design of an Impedance Transformer Using Hybrid Approach Based on an Evolutionary Algorithm" *15TH IMACS 97 World Congress 1997*
- [3] W.K. Gwarek, "Analysis of Arbitrarily Shaped Two-Dimensional Microwave Circuits by Finite-Difference Time-Domain Method", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol.36, no. 4, April 1988.
- [4] A. John and R.H. Jansen, "Evolutionary Generation of (M)MIC Component Shapes Using 2.5D EM Simulation and Discrete Genetic Optimization" *IEEE MTT International Symposium Digest San Francisco July 1996* str. 1405-1409.
- [5] L.O. Chua and L. Yang, "Cellular neural networks: Theory", *IEEE Trans. Circuits Syst*, vol. 35, no.10 October 1988.