

6E-1

衛星通信周波数最適割当への
ニューラルネットワークの応用

狐塚茂樹*, 黒川恭一*
*防衛大学校 情報工學教室

1 はじめに

数多くの通信衛星が軌道上で接近して通信を行わなければならない現在、近接する衛星からの電波の干渉は避けられない障害となっている。これを通信衛星における電波の相互干渉問題といい、これまでさまざまな方法により干渉を軽減させることが考えられている。

国際音声級回線で主流となっているFDM/FM方式は、狭い帯域に多数のキャリアが混在する通信方式であり、特に同一周波数帯を使用し通信を行う場合、各キャリアの配置が悪いと著しい通信障害が起こることが知られている。また、時々刻々トラヒックの変わる衛星通信において、安定した回線状態を維持するにはこのキャリアの配置を最適に割り当てなければならない。

そこで本稿では、相互結合型のニューラルネットワークを用い、極めてシンプルなアルゴリズムにより、高速にできるだけ通信障害が少ないキャリアの配置が得られる方法を提案するものである。

2 衛星通信周波数最適割当

2.1 周波数割当問題の定義

本稿で扱う周波数割当問題では、図1に示すように2つの通信衛星(System1, System2)で同一周波数帯域を使用し、FDM/FM方式により通信を行った場合を考える。System1のキャリア位置を固定するものと仮定したときに、両システムの各キャリア(C₁₁, C₁₂, C₁₃及びC₂₁, C₂₂, C₂₃, C₂₄)間の相互干渉をできるだけ軽減するようなSystem2のキャリアの位置を見つげだすという問題である。

2.2 周波数帯域のセグメント化

周波数割当問題では一般に、割当を行う周波数帯を、図1の様な等区間の周波数セグメント[1]に分割し、これらを並べ変えることによりキャリアの割当を実現している。

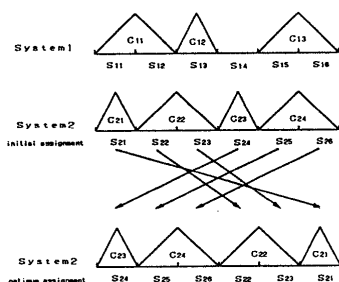


図1 同一周波数帯の相互干渉モデル

したがってC₂₂やC₂₄の様に複数のセグメントにまたがった帯域を占有するキャリアを動かすときには、対応するセグメントS₂₂, S₂₃及びS₂₅, S₂₆を必ずその並

A Proposal of Neural Networks for the
Optimum Frequency Assignment Problem.
Shigeki KOZUKA*, Takakazu KUROKAWA*
*Dept. of Computer Science, The National
Defense Academy

びで接して移動することになる。これをセグメントの隣接条件と呼び、周波数割当問題を解くときの制約条件になる。

一般にS_{2i}がS_{1j}に与える干渉量とS_{1j}がS_{2i}に与えるそれとは異なる。ここでは相互干渉量を最小化するという目的のため、2者のうち大きい量を採用する。

これにより周波数割当問題は、System2のセグメントを適切に割り当てることにより、相互干渉を最小にするというボトルネック型割当問題に置き換えることができる。しかし、上述の隣接条件によりその問題解法は複雑になる。

そこで本稿では、複雑な数学的手法を必要とせず、高速に要求される解が得られる、ニューラルネットワークによる解法を提案する。

2.3 相互干渉行列

セグメントに分割された周波数帯域において、個々のセグメントは相対するシステムのセグメントに干渉を与える。この干渉量は、全ての組み合わせについてあらかじめ計算できる。[1]

これを2次元行列として表したのが、図2に示す相互干渉行列[e_{ij}]である。

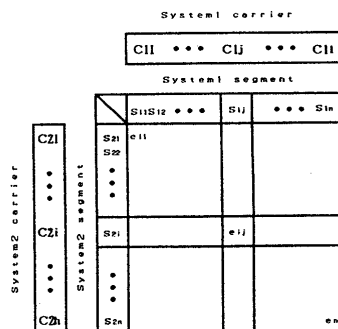


図2 相互干渉行列

3 周波数割当用のニューラルネットワーク

3.1 ニューラルネットワーク表現

本稿で提案するニューラルネットワークを用いた周波数割当問題に対する解法では、相互干渉行列と同様の2次元アレイ状に用意されたn × n (nはセグメント数)個のバイナリニューロンを用いる。ここで行iはSystem2のセグメントS_{2i}を、列jはSystem1(固定)のセグメントS_{1j}を示す。i行j列のバイナリニューロンの入力U_{ij}と出力V_{ij}の関係は以下の式(1)のように定義する。

$$V_{ij} = \begin{cases} 1 & U_{ij} \geq 0 \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases} \quad (1)$$

3.2 動作表現

本稿ではij番目のニューロンの動作式として式(2)を提案する。ただし、式(2)においてe_{m, max}は相互干渉量の最大値、f(x, y)はx ≥ yのとき1を、x < yの時0を取る関数である。また式中のa(i, j, k, l)は、ニューロン(i, j)とニューロン(k, l)それぞれに対応するセグメントが隣接している場合1、そうでない場合0を取る関数で

ある。また、各項にかかる $A_1 \sim A_5$ は正の係数とする。

$$\frac{dU_{ij}}{dt} = +A_1 (e_{max} - e_{ij})(1 - V_{ij}) - A_2 \sum_{r=1}^n V_{rj} - A_3 \sum_{l=1}^n V_{il} + A_4 \sum_{r=1}^n \{f(e_{rj}, e_{ij})V_{rj}\}(1 - V_{ij}) + A_5 \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n a(i, j, k, l)V_{kl}(1 - V_{ij}) \quad (2)$$

第1項はそのニューロンが未発火の場合、干渉量の少なさに応じ発火を促すための興奮性の項である。第2項は同じ周波数帯に2個以上のセグメントが割り当てられるのを防ぐための抑制性の項であり、一方第3項は1つのセグメントが同時に2カ所以上に割り当てられるのを防ぐ抑制性の項である。さらに第4項は、同一周波数帯を担当している他のニューロンが発火しているより、自分が発火した方が干渉を軽減させられる場合に発火を促すための興奮性の項である。最後の第5項は、隣接セグメントを担当するニューロンが発火しているときに強制的に発火するための興奮性の項である。

3.3 並列アルゴリズム

動作式(2)に従って離散時間においてsystem2のセグメントを割り当てる並列アルゴリズムを以下に示す。

- ステップ0 各ニューロンの初期状態 U_{ij} に $-\omega \sim 0$ の任意の負の整数値を与える。
- ステップ1 時刻 t を0とし、ネットワークの動作を始める。
- ステップ2 式(1)に基づいてニューロンの出力を計算する。
- ステップ3 式(2)に基づき ΔU_{ij} を計算する。
- ステップ4 $U_{ij}(t+1) = U_{ij}(t) + \Delta U_{ij}$ によりニューロンの次の入力状態を計算する。
- ステップ5 停止条件が満足されていればプログラムを終了し、そうでなければステップ2へ戻る。

ここで停止条件とは1. 全ての i 及び j において、 $\Delta U_{ij} / \Delta t = 0$ である状態が続いた場合2. $t = T$ となった場合である。なお、 ω 及び T は事前に設定しておくものとする。

4 シミュレーション結果

4.1 シミュレーションに用いた例題

本研究では文献[1]で例題として上げられている小規模の問題から、実際の通信衛星で運用されているのと同程度の規模の問題までの計8種類の例題について、提案したニューラルネットワークの動作特性と求解状況の調査検討を行った。本研究で対象とした問題は、セグメント数が6, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 及び64セグメントの8種類である。なお、6セグメントの問題は文献[1]で示された例題を使用した。最後の64セグメントの例題は、80MHz帯域のトランスポンダの周波数割当において十分な割当精度が得られるものである。また6セグメント以外の問題の相互干渉量は実際の衛星通信回線の値を参考に、乱数により生成したものである。

4.2 シミュレーション結果

表1に全シミュレーション結果を、また図3に6セグメントの問題例と、異なる最適解へ収束したネットワークの状態を2例図示する。表1で繰り返し数とは、乱数

により生成された異なる初期状態から開始された1000回のシミュレーション結果から求められた解へ収束するのに要するステップ2からステップ5までの繰り返し数であり、総干渉量は相互干渉量の総和である。また図3において黒抜きのマス目は発火したニューロンを示し、セグメントの割当状態を表現している。

以上の結果より。

- ① 表1より、問題規模によらずニューラルネットワークの形態(動作式、係数等)が一定である。
 - ② 図3のように、異なる種類の組み合わせを持つ最適解を導出できる。
 - ③ バイナリニューロンを使用しているためハードウェア化に向く。
- などの特徴が示された。

表1 シミュレーション結果

セグメント数	各係数 A					ω	繰り返し数			総干渉量		
	1	2	3	4	5		min	max	平均	min	max	平均
6	1	100	1	100		40	6	46	17	100	245	122
10	1	100	1	100		40	8	100	38	268	620	379
20	1	100	1	100		40	11	97	38	377	907	623
30	1	100	1	100		40	14	100	44	618	1195	886
40	1	100	1	100		40	18	146	54	680	1394	1018
50	1	100	1	100		40	20	97	60	1241	1960	1566
60	1	100	1	100		40	30	109	60	1319	1719	1525
64	1	100	1	100		40	24	148	88	1421	1962	1696

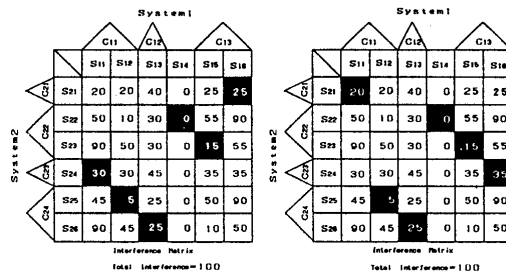


図3 相互干渉行列とネットワークの収束状態

5 結論

本研究では、衛星通信における周波数の最適割当を求めるニューラルネットワークを提案した。シミュレーションの結果、インテルサットシステムで実用規模とされる64セグメント問題においてもニューラルネットワークによる解法の有用性が示された。これにより、時々刻々トラヒックの変化するようなシステムにおいては提案したニューラルネットワークをハード化し、キャリア割当を担当する専用の回路をシステム内に組み込めば、相互干渉の少ないより安定した通信が行えることが期待される。

文献

- [1] 水池健, 伊藤泰彦: "同一チャンネル干渉軽減のための周波数最適割当", 信学論(B), J69-B, 9, pp. 9 21-932(1989-9).
- [2] C. マリア, 一楽信雄訳: "数理計画入門2", 東京図書, p. 53, (1972).