

通信干渉防止のOR問題 (上)

—相互変調干渉について

森 戸 晋

1. はじめに

石油をはじめとするエネルギー資源が稀少資源 (scarce resource) となっていることは周知であるが、通信量の激増にもなって電磁波も電磁資源 (electromagnetic resource) ともいうべき稀少資源となりつつあることはあんがい知られていない。需要増加にもなって各種電波干渉も増加し資源の有効利用を妨げているが、本稿では2回にわけて、海上を航行する艦艇等において問題となる相互変調(intermodulation)と呼ばれる干渉(の防止)に関連するORの問題を取り扱う。すなわち、今回は相互変調波の干渉力の指標となる位数(後に定義)を求める整数計画問題の近似解法を論じ、次回は相互変調干渉防止のための周波数選択・割当の問題をとりあげる。なお本稿は筆者が Case Western Reserve University (Cleveland, Ohio) 在任中 Naval Ocean Systems Center (San Diego, California)他からの共同委託研究の成果を基礎とするものである。

2. 相互変調とその位数

電波干渉の成因としては、通信システムと無関係な外的要因、通信機器の性能上の問題、周波数割当等の管理上の問題等が考えられ、このなかには除去可能なものも含まれている。同一地域で同一(隣接)回線を同時使用すると同一(隣接)回線干渉 (cochannel(adjacent-channel) interference) が発生することは容易に理解できるし、対応策もとりやすいが、同一地点で多信号を同時送受信する際に発生する同一地点干渉 (cosite interference) には電磁波特有のタチの悪いものが多い。相互変調は同一地点干渉のひとつで、各種伝送回路の非線形性 (non-linearity) により複数の入力信号周波数の組合せ(正確には入力周波数またはその整数倍の和あるいは差)より

なる新しい周波数をもつ干渉信号が生まれることにもとづくもので、船舶・航空機・宇宙船等広い空間内の一点(ないしは距離的に限られた場所)で多数の信号を送受する場合にしばしば問題となる。相互変調を生む伝送回路は、通信機器の一部のこともあれば、通信機器とは無関係の本来伝送回路たることを目的とせず、したがって非線形性の強い物体であることもある。海軍艦艇においては、送信アンテナ周辺に数多く存在する非線形物体(たとえば金属の接合部)が生成する相互変調波による干渉がしばしば問題となる。具体的には、ある船で使用中の複数の送信周波数の組合せとして生成された相互変調周波数が、たまたまこの船で受信中の周波数と合致した場合、相互変調波の出力によってはその雑音のため受信信号が聞きとれなくなるのである(図1)。一般に相互変調波の出力は送信波出力にくらべれば微小であるが、遠方から送られてくる受信信号に障害を与え得る程度の出力を有することは十分考えられる。

相互変調波の出力は数多くの要因に依存するが、そのなかで相互変調波の位数 (order), より正確には最小位数 (the lowest order), に特に強く依存することが知られている。ここに、信号 F_1, F_2, \dots, F_n によって作られる相互変調周波数を F とすると、適当な整数 x_1, x_2, \dots, x_n に対して、

$$F_1 x_1 + F_2 x_2 + \dots + F_n x_n = F \quad (1)$$

となるが、 $\sum_{i=1}^n |x_i|$ を F の位数と呼ぶ。一般に位数が小さいほど相互変調波の出力が大きいので F の最小位数を問題にするのである。(なお(1)に整数解が1個存在すれば無数個の整数解が存在する[5].) 逆に、 F_1, F_2, \dots, F_n および F が既知とすると、 F の最小位数は等式(1)を制約条件とし整数変数 $x_i (i=1, \dots, n)$ が負の値をとりうる整数計画問題:

$$(RFI) \quad \text{最小化} \quad Q = \sum_{i=1}^n |x_i|$$

もりと すずむ 筑波大学 社会工学系

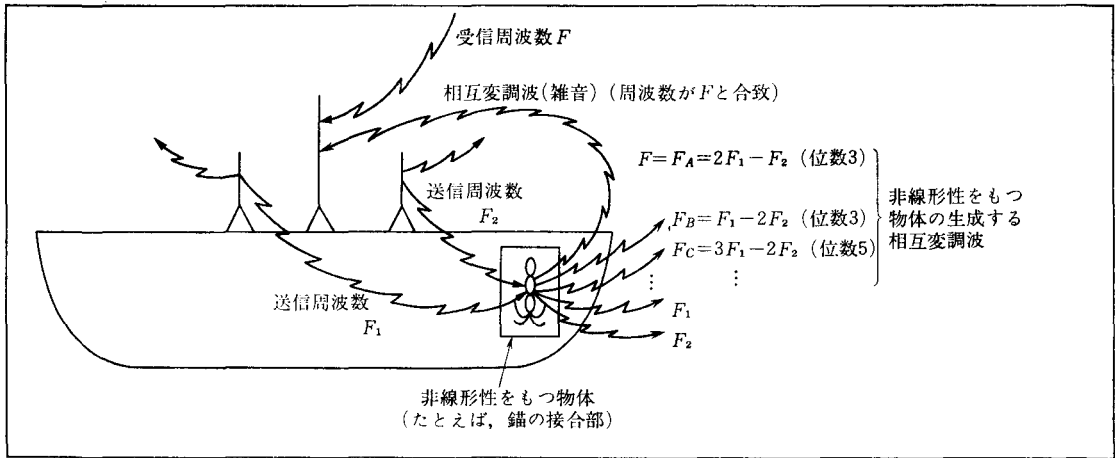


図 1

$$\left. \begin{array}{l} \text{制 約} \quad \sum_{i=1}^n F_i x_i = F \\ x_i \text{ 整数} (i=1, 2, \dots, n) \end{array} \right\} (2)$$

を解くことによって求められる。通常最小位数 (以下文脈から明らかな時には最小位数を単に位数とよび、 Q^* と表わす) が 1桁(多くの場合 5 以下) の低位の相互変調波が干渉をおこすことが多い。なお制約式 (1) を満たす整数ベクトル $x = (x_1, \dots, x_n)$ を整数解または単に解と呼ぶ。

艦艇周辺の非線形性をもつ物体による相互変調干渉を防ぐために米海軍では 2 つの補完的アプローチが考えられている。第 1 のアプローチは相互変調を生成する主要な物体を発見し物理的に除去するという、いわば船の「掃除」的方法である [2]。ただし非線形性物体は無数に存在するためすべてを除去することは不可能であり、強力な相互変調波の生成源にマツを絞らざるをえない。前述のように相互変調波の出力は位数と反比例する傾向にあり、高位の相互変調波は出力が小さく検出されることが多い。したがって通常問題とならない高位の相互変調波が検出された場合、これが強力な発生源で生成された可能性が強く、そうであればこの発生源からいっそう強力な低位の相互変調波が出ているものと考えられる。このような強力な発生源を発見・除去するために、まず相互変調波を検出した後 (RFI) を解き、その最小位数を求め、位数が異常に高い場合のみ発生源を発見・除去という作業を繰り返して船を「きれいに」してゆく。以上がうまくゆけば強力な発生源が除去され、高位の相互変調波は検出できなくなるが、通常問題となる低位 (たとえば位数 3) の相互変調波は残るのが普通である。そこで第 2 のアプローチとして、低位の相互変調干渉がおこる可能性がないような周波数選択・割当を考え

る。

以上の補完的アプローチが可能となるためには整数計画問題 (RFI) を効率的に解く方法が必要である。変数の数 n は、ある船で同時使用される送信信号数であるのであまり大きくはないが、船によっては通信艦 (communication ship) のように数十の信号が使われることも珍しくない。 $n=2$ に対する解法は知られている [2] が、 $n \geq 3$ に対する効率的解法は知られていない。ここでは、 $n \geq 3$ に対処できる (RFI) の近似解法を提案する。

3. ユークリッド互除法にもとづく近似解法

第 1 のアプローチ、すなわち船の掃除に当っては、比較的少数 (最低 2 から最高 10) の送信信号のみを発信して相互変調波を検出し (RFI) を解く。このとき一定の送信周波数の組に対して一般に多くの相互変調波が検出されるので、同一の左辺係数 F_i の組に対して多くの異なる右辺 F を有する (RFI) を解く必要が出てくる。本節ではこのような状況に適した (RFI) の近似解法 (求められる位数が必ずしも最小位とは限らない) を考えよう。なお、ここでは周波数がすべて整数として与えられており (この点については後に説明)、しかも右辺 F が左辺係数 $F_i (i=1, \dots, n)$ の最大公約数、 $\text{gcd}(F_1, \dots, F_n)$ の整数倍であると仮定し、したがって (1) を満たす整数点が (無数に) 存在するとしておこう。

解法は、(1) の右辺を 0 とした等式：

$$\sum_{i=1}^n F_i x_i = 0 \quad (3)$$

の一般整数解が $(n-1)$ 個の (3) の整数解 (これらを基本解と呼ぶ) の整数 1 次結合 (整数条件を加えた 1 次結合) として表現でき、(1) の一般整数解は (1) の任意の整数解と (3) の一般整数解の和と表現できることにもとづく。

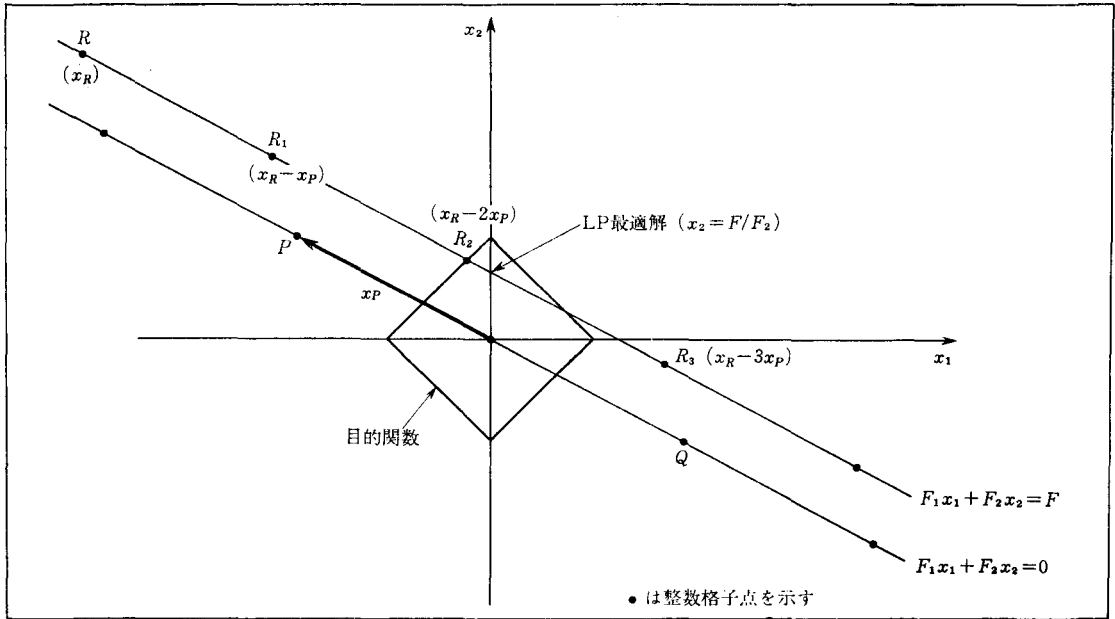


図 2

ユークリッド互除法にもとづく (RFI) の近似解法の基本アプローチ

ステップ 1 ユークリッド互除法にもとづき (3) の基本解を求め、その整数 1 次結合として (3) の一般解を表現する。

ステップ 2 本来の制約式 (1) の整数解をひとつ見つける。

ステップ 3 ステップ 1 で求めた $(n-1)$ 個のベクトル方向に順次 1 次元 (整数) 探索をほどこし、ステップ 2 で求めた解を改善する。 $(n-1)$ 個のどの方向でも解が改善されないならば、ストップ。 ■

幾何学的には、制約式 (1) が n 次元空間内の $(n-1)$ 次元超平面となり、解はこの上の整数格子点であり、また一定の Q に対して $Q = \sum_{i=1}^n |x_i|$ を満足する x は超ダイヤモンド ($n=2$ のときは図 2 のように斜め向きの正方形) の境界点となる。 Q を最小化するには、境界上に整数格子点がある最小の超ダイヤモンドを見つければよい。 $n=2$ の場合 (図 2)、(3) の解は対応する直線上原点が一番近い点 (点 P あるいは Q) の整数倍と表現できる。 制約式 (1) の直線上の任意の整数点、たとえば R 、が求まる (ステップ 2) と、

点 R から P (または Q) で規定されるベクトル方向にその整数倍移動 (整数倍でないと整数格子点にならない) して Q を最小にする整数解を見つけようというわけである。

なお、 n の値にかかわらず任意の解 x から基本解のあるベクトル方向に移動する際、目的関数 Q の値が区分的線形な凸関数をなすことが簡単に証明できる (図 3)。 しかもこの関数の折れ目は、移動に当たって各 $x_i (i=1, \dots, n)$ が 0 となる点に相当するので簡単に計算でき、したがって、あるベクトル方向で Q を最小化する整数点が求められる。 (これより $n=2$ のとき基本アプローチが常に最小位を与えることがわかる。)

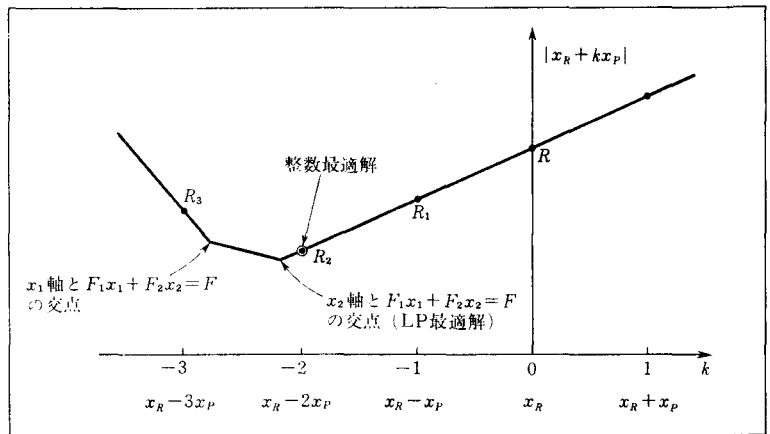


図 3 (本図は図 2 に対応)

表 1 例によるステップ 1 の計算

$$(F_1=6989, F_2=4688, F_3=2113)$$

反復 i	$F_i = k_1 F_{i+1} + k_2 F_{i+2} + F_{i+3}$	$x^{F_{i+3}}$			
		x_1	x_2	x_3	$\sum x_i $
1	$6989 = 1(4688) + 1(2113) + 188$	1	-1	-1	3
2	$4688 = 2(2113) + 2(188) + 86$	-2	3	0	5
3	$2113 = 11(188) - 1(86) - 41$	9	-8	-12	29
4	$188 = 2(86) + 0(41) + 16$	5	-7	-1	13
5	$86 = 2(41) + 0(16) + 4$	-20	19	24	63
6	$41 = 3(16) - 2(4) + 1$	-46	51	39	136
7	$16 = 4(4) + 0(1) + 0_1$	85	-83	-97	265
8	$4 = 4(1) + 2(0_1) + 0_2$	-6	-19	62	87
9	$1 = -1(0_1) - 1(0_2) + 1'$	33	-51	4	88
10	$0_1 = -1(0_2) + 0(1') + 0_{1'}$	79	-102	-35	216
11	$0_2 = 0(1') + 0(0_{1'}) + 0_2$	-6	-19	62	87
12	$1' = 0(0_{1'}) + 0(0_2) + 1'$	33	-51	4	88
13	$0_{1'} = 0(0_2) + 0(1') + 0_{1'}$	79	-102	-35	216

「短い」基本解の求め方——ステップ 1

符号の違う解を同一視すれば、 $n=2$ の場合は基本解が一意に定まるが、 $n \geq 3$ の場合は無数組の基本解が存在する。等式 (3) の一般整数解の解法はいくつか提案されている(たとえば [1, 3, 4]) が、これらは基本的に、

$$\gcd(F_1, F_2, \dots, F_n) = \gcd(F_1, \gcd(F_2, \dots, F_n)) \quad (4)$$

という関係を帰納的に使った解法と考えられ、計算途中で扱う数値が大きくなり計算機オーバーフローをおこしやすい。たとえば、 $n=3$ の例($F_1=6989, F_2=4688, F_3=2113$)の場合、(4)を基礎とする [4] の解法によれば基本解 $(0, -2113, 4688)$ および $(1, 14767757, -32764432)$ が求まる。このような数値の巨大化を防ぎ、かつステップ 3 の 1 次元探索で位数の低い解が見つかるように、ここでは任意の整数 $k_i (i=2, \dots, n)$ に対して、

$$F_1 = k_2 F_2 + \dots + k_n F_n + F_{n+1} \quad (5)$$

であれば、

$$\gcd(F_1, F_2, \dots, F_n) = \gcd(F_2, \dots, F_n, F_{n+1}) \quad (6)$$

であるという関係を基礎として長さの短いベクトルを基本解とするようステップ 1 を工夫しよう。ここに解の「長さ」は旧問題の目的関数同様各成分の絶対値の和、すなわち $\sum_{i=1}^n |x_i| (L_1 \text{ ノルム})$ で定義し、 $|x|$ と書くことにする。

以下では表記の煩雑さを防ぐために前述の例 ($n=3$) を用いてステップ 1 を説明しよう。表 1 にまとめられたように、アルゴリズムは (5) の $k_i (i=2, \dots, n)$ をユークリッド互除法のように求めることの反復からなる。すなわち、まず F_1 を F_2 で割り商を k_2 、余りを R_2 とし(ここで、余りを $0 \leq R_2 < F_2$ とする普通の割算に対して、余り R_2 の絶対値を最小にする k_2 を求める割算を考えると一

般に効率がややあがる)、次に R_2 を F_3 で割り商を k_3 、余りを $R_3 (R_3=0$ の時は、 $k_3=R_3=0$ とする) …、とし最終的な余り R_n を F_{n+1} とする。したがって表 1 の各行(反復)は 2 つ(一般には $n-1$) のサブステップ:

$$6989 = 1(4688) + 2301,$$

$$2301 = 1(2113) + 188$$

をまとめたものである。右辺を k (整数) とする等式:

$$6989x_1 + 4688x_2 + 2113x_3 = k \quad (7)$$

の整数解を x^k と表記すれば、反復 1 は $x^{F_4} = x^{188} = (1, -1, -1)$ を示すことに注意されたい。以後反復が進むにつれて、表 1 において F_i の値が 1 つずつ左下にずれてゆく形をとる。一般に反復 i において F_i, F_{i+1}, F_{i+2} より $F_{i+3} = F_i - k_{i+1}$

$F_{i+1} - k_{i+2} F_{i+2}$ が定まるが、これに対応して $k = F_{i+3}$ を右辺とする等式 (7) のひとつの整数解 $x^{F_{i+3}} = x^{F_i - k_{i+1}}$ $x^{F_{i+1} - k_{i+2} F_{i+2}}$ およびその長さ $|x^{F_{i+3}}|$ が表 1 の右側に示してある。

反復 7 の余り F_{10} が 0 となり、

$$6989x_1 + 4688x_2 + 2113x_3 = 0 \quad (8)$$

の整数解 $x^0 = (85, -83, -97)$ が求まる。なお (8) の異なる整数解を識別するために 0 に添字をつけて $0_1, 0_2$ 等とし、対応する解を x^{0_1}, x^{0_2} 等と書くことにする。反復 7 は、

$$16y_1 + 4y_2 + y_3 = 0 \quad (9)$$

のひとつの整数解 $y = (1, -4, 0)$ を示すとも考えられるが、実は (9) の整数解と (8) の整数解には 1 対 1 の対応関係が存在することが証明できる [3]。 x と y の対応関係:

$$x = \begin{pmatrix} 5 & -20 & -46 \\ -7 & 19 & 51 \\ -1 & 24 & 39 \end{pmatrix} y = My = x^{16} y_1 + x^4 y_2 + x^1 y_3$$

を定める行列 M が表 1 右側の破線部(の転置)であること、 $|\det M|$ (M の行列式の値の絶対値) = 1 であることに注意されたい。

反復 8 は、

$$4 = 4(1) + 0_{2'}, \quad 0_{2'} = 2(0_1) + 0_2$$

なる 2 サブステップをまとめたものである。証明は省く [3] が、第 1 サブステップの余り $0_{2'}$ に対応する解 $x^{0_{2'}} = (164, -185, -132) = x^4 - 4x^1$ は、さきに反復 7 で求めた x^{0_1} とともに (8) の基本解を構成し、(8) の任意の整数解は x^{0_1} と $x^{0_{2'}}$ の整数 1 次結合として表わせる。以下のステップは、基本解としての性質を保ちつつ基本解を

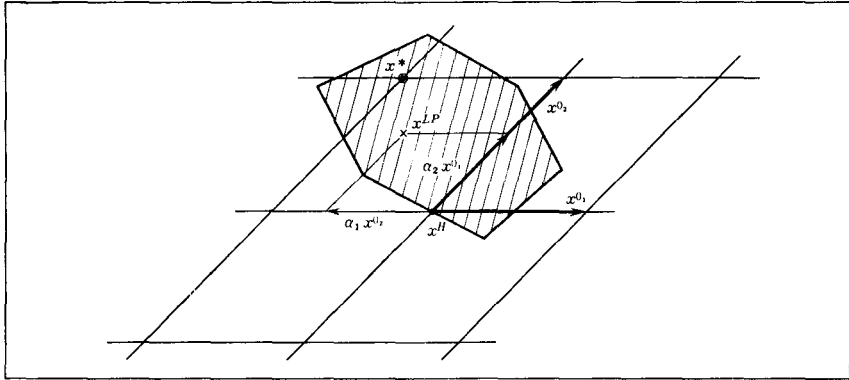


図 4

構成するベクトルを縮めてゆこうとするものであり、幾何学的にはステップ3と同様、1次元探索の繰り返しに相当する。すなわち、第2サブステップは、割る数が0であるため割算とは考えられないが、

$$0_2 = k(0_1) + 0_2$$

がいかなる整数 k に対しても成立する (k の整数性は対応する解の整数性を保つため) ことに着目し、 x^{0_2} の長さを x^{0_1} で規定される方向に動くことにより縮小させたもの、すなわち、

$$x^{0_2} = x^{0_2'} - kx^{0_1} = \begin{pmatrix} 164 \\ -185 \\ -132 \end{pmatrix} - k \begin{pmatrix} 85 \\ -83 \\ -97 \end{pmatrix} \quad (10)$$

において $|x^{0_2}| = \sum_{i=1}^3 |x_i^{0_2}|$ を最小とする整数 k を求めた結果である。(なお、より早い反復において $F_i (i > n)$ となった場合にはこの方法で k_i を求めてもよい。) この結果 $k=2$ としてできる x^{0_2} が $x^{0_2'}$ と入れかわり ($|x^{0_2}| < |x^{0_2}'|$ に注意)、 x^{0_1} と x^{0_2} が基本解となる。

以上の方法による基本解ベクトルの縮小はいずれ不可能となりステップ1が終了する。表1では、反復8, 9, 10で求まった $x^{0_2}, x^{0_1}, x^{0_1'}$ が反復11, 12, 13と一致し、この方法による縮小がもはや不可能であることを示しており、最終的に基本解 $x^{0_1'} = (79, -102, -35)$, $x^{0_2} = (-6, -19, 62)$ が求まる。なお、最後(反復9以降)に残る F_i の中のただ1つ非0要素が F_1, F_2, \dots, F_n の最大公約数であることは(6)より明らかである。

整数解とその改善——ステップ2・3

旧問題の右辺 F は $G = \gcd(F_1, \dots, F_n)$ の整数倍、すなわち $F = mG (m \text{ 整数})$ と仮定したからステップ1の副産物として x^G が求まれば、 $x^F = kx^G$ が求まる(ステップ2)。表1の例で右辺 $F = 1893$ とすれば、 $x^{1893} = 1893 \cdot x^{1'} = (62469, -96543, 7572)$ が求まる。($x^{1'}$ のかわりに x^1 を用いてもよいことはいうまでもない。) なお、 x^{1893} の各成分の絶対値をいっそう小さく保つには、

$1893 = 1(2113) - 1(188) - 1(41) + 1(16) - 2(4) + 1(1)$ に着目して、

$$x^{1893} = x^{2113} - x^{188} - x^{41} + x^{16} - 2 \cdot x^4 + x^1$$

とすれば $x^{1893} = (68, -87, -31)$ が得られる。

次にステップ3で基本解 $x^{0_1'}, x^{0_2}$ を使った1次元探索により整数解の改善をはかる。その結果、

$$1) \quad \text{Min}_k |x^{1893} + kx^{0_1'}| = \begin{pmatrix} 68 \\ -87 \\ -31 \end{pmatrix} + (-1) \begin{pmatrix} 79 \\ -102 \\ -35 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -11 \\ 15 \\ 4 \end{pmatrix} = x^{1893A}$$

$$2) \quad \text{Min}_k |x^{1893A} + kx^{0_2}| = \begin{pmatrix} -11 \\ 15 \\ 4 \end{pmatrix} + 0 \begin{pmatrix} -6 \\ -19 \\ 62 \end{pmatrix} = x^{1893A}$$

となり、 x^{1893A} を $x^{0_1'}$ または x^{0_2} の方向に移動して縮小できなくなりアルゴリズムが終了する。

異なる出発点からの1次元探索による解法の信頼性向上 n が比較的小さい場合には、こうして求まる解が最小位数を与えることが多いが、残念ながら $n=3$ の場合でも最小位数が求まらない場合がある。たとえば、

$$8913x_1 + 5677x_2 + 4378x_3 = 4361 \quad (11)$$

を満足する解 $x^H = (14, -59, 49)$ (位数122) は、表1と同様の手順で求まる基本解 $x^{0_1} = (61, -95, -1)$, $x^{0_2} = (57, -17, -94)$ を(ステップ3で)使って縮小することができない。ところが、(11)の最適解は位数73の $x^* = (10, 19, -44) = x^H - x^{0_1} + x^{0_2}$ である。この状況を図示したのが図4である。図中斜線部は $\sum_{i=1}^n |x_i| \leq \sum_{i=1}^n |x_i^H|$ を満足するダイヤモンドと平面(11)との共通部分を示し、この内部に存在する解は x^H より低位数を与える。

計算が簡単かつ迅速な1次元探索(ステップ3)をそのまま使って解法の信頼性向上をはかるためには、出発点や $(n-1)$ 個のベクトルの順序を変えて1次元探索を繰

表 2 計算結果

問題 (RFI)	基本アプローチのみの信頼性%			(基本アプローチ+再出発点からのステップ3)		
	異なる左辺 \$F_i\$ の組の数	右辺 \$F\$ の総数	最小位数 \$Q^*\$ の平均	信頼性%	誤差*	
3	14	531	50.2	96.4	100.0	0.0
4	7	487	21.3	85.9	99.0	2.8
5	20	1549	10.6	75.3	97.6	8.2
6	9	385	8.0	<50	96.6	3.3
7	9	313	7.2	<50	94.6	3.2
8	5	194	6.8	<50	84.5	1.5

*求めた位数が本当の最小位数より高い場合の位数の差の平均

り返すことが考えられる。ここでは、旧問題 (2) の整数条件を緩和した線形計画問題の最適解 \$x^{LP}\$ から得られる情報をもとに 1 次元探索の出発点を変えることを考えよう。\$F_1 > F_2 > \dots > F_n\$ と仮定すると、\$x_1^{LP} = F/F_1\$、\$x_i^{LP} = 0 (i=2, \dots, n)\$ であるが、(RFI) の場合、一般にその最小位数 \$Q^* = |x^*|\$ は \$|x^{LP}| = F/F_1\$ よりはるかに大きく、逆に \$x^*\$ あるいは他の整数解から見れば \$x^{LP}\$ は原点 (\$x\$ の各成分が 0) のすぐ近くであることが多い。基本解を \$x^0 (i=1, \dots, n-1)\$ とすると、最適解 \$x^*\$ および任意の整数解 \$x^H\$ に対して、

$$x^{LP} = x^H + \sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i x^0_i \quad (\alpha_i \text{ は実数}) \quad (12)$$

$$x^* = x^H + \sum_{i=1}^{n-1} k_i x^0_i \quad (k_i \text{ は整数}) \quad (13)$$

を満たす \$\alpha_i, k_i (i=1, 2, \dots, n-1)\$ が存在する。たとえば、(11) の例では \$x^H = (14, -59, 49)\$ に対して、

$$x^{LP} = \begin{pmatrix} 4361/8913 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 14 \\ -59 \\ 49 \end{pmatrix} - 0.7157 \begin{pmatrix} 61 \\ -95 \\ \alpha_1 \end{pmatrix} + 0.5289 \begin{pmatrix} 57 \\ -17 \\ \alpha_2 \end{pmatrix} - 94$$

となる。\$x^*\$ とくらべた場合原点にきわめて近いと予想される \$x^{LP} (|x^{LP}| \approx 0.489)\$ が \$x^H - 0.7157x^0_1 + 0.5289x^0_2\$ と表わされるとなると、\$x^H - x^0_1 + x^0_2\$ が \$x^H\$ より低い位数を与えるかも知れないと考えるのは自然であろう。実際、計算実験の結果、比較的小さい \$n < 10\$ に対しては、\$x^H\$ が最適解でない場合、(12) の \$\alpha_i\$ と (13) の \$k_i\$ の間の相関が強いことがわかった。そこで近似整数解 \$x^H\$ が求まると (12) を解き \$\alpha_i\$ を求め、\$\alpha_i\$ の (絶対) 値を手がかりとして再出発点を決め 1 次元探索を繰り返すという手順が考えられる。再出発点の決め方としては、たとえば \$|\alpha_1| \geq |\alpha_2| \geq \dots \geq |\alpha_{n-1}|\$ であるとし、\$\beta_i\$ を (たとえば)

絶対値 1 以上 (つまり非 0) で \$\alpha_i\$ に一番近い整数とするとき、第 \$j\$ 番目 (\$j=1, 2, \dots, n-1\$) の再出発点を \$x^H + \sum_{i=1}^j \beta_i x^0_i\$ とする、などが考えられる。なお、再出発点からの 1 次元探索の過程でより低位の解が発見されたならば、\$x^H\$ を更新し \$\alpha_i, \beta_i\$ を計算しなおした後同じプロセスを繰り返せばよく、一方よりよい解が全然見つからないときにはアルゴリズムが終了する。

周波数の「幅」に対する考慮

ここまでの議論では周波数を 1 つの (整数) 値と扱ってきたが、実際は信号周波数とは点でなくある幅をもち、その中心周波数をもって周波数と呼んでいる。さらに、周波数測定あるいは設定に当って計器等に誤差が存在することを考えれば、(RFI) の制約式 (1) は、

$$F - \epsilon \leq \sum_{i=1}^n F_i x_i \leq F + \epsilon \quad (14)$$

と考えたほうが好ましい。ここに \$\epsilon\$ を防衛帯 (guard band) と呼び、(14) は相互変調波が受信周波数 \$\pm \epsilon\$ の防衛帯におちれば干渉がおき得ることを示すと解釈できる。近似解法において、こうした信号のもつ周波数幅を考慮に入れるためには次の 2 つの近似的方法およびそれらの組合せが考えられる。

- A) 右辺 \$F\$ の防衛帯内に落ちる周波数に対して (RFI) を繰り返し解く。この際、左辺 \$F_i\$ は変わらないからステップ 1 は 1 回のみで、ステップ 2・3 を繰り返せばよい。
- B) 防衛帯の大きさに応じて原データ (周波数) を適当な数、たとえば 10、で割り (小数点以下を四捨五入)、左辺 \$F_i\$ や右辺 \$F\$ の数値の桁数をおとした後 (RFI) を適用する。

4. 近似解法の計算結果と結語

表 2 は前節で述べた近似解法の計算結果を示したものである。ここに信頼性とは、近似解法が最小位数を発見した割合である。なお本当の最小位数は次回述べる列挙法により求めた。出発点を変えての 1 次元探索をしない基本アプローチのみの信頼性は \$n\$ とともに急速に低下するが、出発点を変えつつ 1 次元探索を繰り返すと \$n \leq 7\$ に対して約 95% 以上の信頼性を保つことができた。なお表 2 で解かれた問題は、4 桁整数を \$F_i\$ および \$F\$ とするランダムに生成された問題である。

相互変調波の主要な生成源を除去するに当っては、船上で迅速に (RFI) を解くことが必要となるが、ここで述べた近似解法はミニコン、マイクロ・プロセッサはもちろん、ちょっとしたプログラム電卓でも手軽に計算できるものである。またこの解法は、線形整数方程式 (linear diophantine equation) の一般解の効率的解法

を与えるものとも考えられ、その特徴は F_i や F の桁数が大きい(3~6桁)場合にも膨大な数値を扱うことなく基本解を求められることにある。最後に(RFI)から得られる最小位数にもとづく船の「掃除」の実際例として、強力な生成源の重点的除去により、検出可能な相互変調波の最小位数の最大値が27から5におちたり、極端な例としては60から6におちたものがあることを述べておこう。

参考文献

- [1] Bond, J.: Calculating the general solution of a linear diophantine equation, *American Mathematical Monthly*, Vol. 74, No. 8, 1967
 [2] Chase, W. M., Rockway, J. W., and Salisbury, G. C.: A method of detecting signifi-

cant sources of intermodulation interference, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, Vol. 17, No. 2, 1975

- [3] Morito, S. and Salkin, H. M., Finding the general solution of a linear diophantine equation, *Fibonacci Quarterly*, Vol. 17, No. 6, 1979
 [4] Morito, S. and Salkin, H. M., Using the Blankinship algorithm to find the general solution of a linear diophantine equation, *Acta Informatica*, Vol. 13, No. 4, 1980
 [5] Saaty, T. L.: Optimization in Integers and Related Extremal Problems, McGraw-Hill, New York, 1970

研究部会報告

●創造性開発の数学モデルとCBD●

・6月例会 日時: 6月18日(木)15:00~17:00 場所: 電々公社会議室(22森ビル) テーマ: モンテーギュ文法; 石本 新(東京理科大学)

講義概要:

(1) 世界中のすべての言語において $S = N_p + V_p = (\text{Det.} + N) + V \dots N_p$: Noun Phrase, V_p : Verve Phrase という表現形式が基本となっている。モンテーギュ文法においては, every man walks $\rightarrow (\lambda P \lambda Q \forall x (P_x \supset Q_x) \text{ man}) \text{ walk}$ the boy is happy $\rightarrow ((\lambda P \lambda Q (\mathcal{I}_x (P_x \wedge Q_x) \wedge \forall x \forall y (P_x \wedge P_y, \supset x=y)) \text{ boy})) \text{ happy}$ のように表現される。

(2) モンテーギュによると is の翻訳が複雑になるのだがこれは英語(米, 西独)の特殊性に引き摺られているようである。約2400年前のアリストテレスの三段論法の例もあるように, 自然言語に関しては, 述語論理は必要であるのだろうかという疑問を拭い去ることができない。レスニェウスキーの関係式が述語論理の式になるから, 述語論理の式を証明して, 自然言語解析にレスニェウスキーの方法を用いるのがよいと考えられる。レスニェウスキーの方法によると, $t \in (a, b) \supset \in (a, b)$ のような基本的な式が直ちに証明することができ, 構造が簡単にな

るという利点がある。

(3) John is man. Jahn is happy の happy が man よりタイプが上になっているが, このような type difference を認めないものを採り入れることができるのではないだろうかという研究課題がある。

(4) 時制演算は内包論理学において, またモンテーギュ文法において, 自然言語を分析する際に重要な役割を演じるのであるが, 詳しい報告は別の機会にゆずる。

・7月例会 日時: 7月15日(水)15:00~18:00 場所: 電々公社(22森ビル) 出席者: 12名 テーマ: メンタル・モデルによる思考; 佐伯 胖(東京大学) 講演要旨は「ものごとを本当に理解することは手続き的に理解することではなく, 自分の知っているドメインにそれを移して見て, そこでミニチュアモデルのように動かしてシミュレーションできる世界を頭に描き出せることである」であった。研究部会員の興味を中心テーマであったためか熱の入った議論があった。

●日本における社会システム分析●

・研究成果の発表会

7月9日(木)および10日(金)の両日, (財)関西情報センターおよび関西経営情報科学協会主催の「熟年者活性化セミナー」に協賛の形で実施した。

- (1) 高齢化問題の本質と具体的対策(小島光造)
 (2) 中高齢女性の社会的役割と企業の対応(加藤富子, 雨宮幸雄, 小野勝章)
 (3) 情報処理分野における中高齢者活用の方策(小野勝章)