B_022

直交表のソフトウェアテストへの応用

－多因子・多水準、強さ 2. 3. 4 対応の直交表生成ソフトの応用－

Application of Orthogonal Array to Software Testing

須田健二†
Kenji Suda

1. まえがき

直交表をソフトウェアテストに応用する動きが盛んである。しかし、強さ２の直交表を構成するのは比較的簡単だが、強さ３以上で、多因子・多水準の直交表の構成は簡単ではなく、それが、多因子・多水準に相当する項目をもつソフトウェアで、３因子間あるいは４因子間の組合せテストを困難にしていた。我々はすでに、多因子（50 因子）・多水準（2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 水準）、強さ 2, 3, 4 に対応できる直交表を自動的に構成できるソフト **Galois** を開発している。従って、この **Galois** によって生成される直交表は、２因子間、３因子間、４因子間のすべての組合せのチェックを保証するテストが可能であり、より広範囲のソフトウェアテストに利用することができる。

2. 直交表とは

$S=\{0,1,\cdots,q-1\}$とする。強さ t の直交表は、$m\times N$行列 A で、次の条件を満たすとき、A は大きさ N、制約数 m、シンボル数 q、インデックスλの直交表であるといい、$OA(N, m, q, t)$と書く。

条件；A の任意の t行に対し、すべての S^tの順序対がちょうどλ個の列に現れる。

なお、この直交表を実験計画で使用するときには、N は実験回数、m は因子数、q は水準数、tは強さとなる。一般的に良く使用されている記法 $L_N(q^m)$ は、$OA(N, m, q, 2)$に相当する。

2. 1 実用的に必要な直交表

直交表は、一部実施要因計画で、実験回数を少なく、偏りのない推定を行うためによく用いられている。しかし、実際の実験では、因子の主効果の他に、いくつかの因子間における 2 因子交互作用効果を推定する必要があり、強さ 2 の直交表 $OA(N, m, q, 2)$で、部分的に強さ 3 と強さ 4 を持つ直交表が必要となる。

3. 直交表の構成法

3. 1　G行列から直交表を生成

このような直交表を構成する方法は、ある条件を満たすような行列 G が作れれば、簡単であることが知られている[1]。今、推定したい要因を $F_1, F_2,\cdots,F_m$ とし、すべて同じ水準を持つとする。次に想定される 2 因子交互作用を $F_{i1}\times F_{j1}$, $F_{i2}\times F_{j2}$, $\cdots$, $F_{iw}\times F_{jw}$ とする。これをインデックスの集合で簡略化して次のように書く

$$M=\{1,2,\cdots,m\}$$

$$I=\{\{i_1,j_1\},\{i_2,j_2\},\cdots,\{i_w,j_w\}\}\subseteq M \text{ [2]}$$

† 群馬工業高等専門学校 電子情報工学科

すなわち、水準数 q が一定で、しかも素数べきであるなら、有限体 $GF(q)$上、次のような性質を持つ$m\times n$行列 G を考える。

(1) Gの任意の 2 行は、線形独立である。

(2) $k\in M, \{i,j\}\in I$, $(\{k\}\cap\{i,j\}=\phi)$のとき、Gの第 i, j, k の 3 行は線形独立である。

(3) $\{i,j\}, \{k,l\}\in I$, $(\{i,j\}\cap\{k,l\}=\phi)$ のとき、Gの第 i, j, k, l の 4 行は線形独立である。

この条件を満たす G 行列から、直交表は次式で得られる。

$$A=\{r=G\theta;\ \theta\in GF(q)^n\}$$

3. 2　G行列の構成に有限射影幾何を利用

このような G 行列を構成する方法として、要因 F_1, $F_2,\cdots,F_m$ を有限射影幾何 $PG(n,q)$の点に割りつける方法が知られている。すなわち、

(1) $PG(n-1,q)$の点は、$GF(q)$上の n 次元ベクトルで表現できる。

(2) $PG(n-1,q)$のすべての点（ベクトル表現）から G 行列を作ると、$m=(q^n-1)/(q-1)$なる強さ 2 の直交表が構成できる。

(3) 強さ 3 の直交表を作るには、直線上の 3 点にのらない点の集合を集める必要がある。

(4) 強さ 4 の直交表を作るには、平面上の 4 点にのらない点の集合を集める必要がある。

4. 直交表実験計画の構成・解析プログラム Galois

4. 1 有限射影幾何による割りつけアルゴリズム

各因子を $PG(n,q)$の点に割りつける割りつけアルゴリズムについて、本研究で実現したものを以下に示す。

(A1)小さい順での割りつけ
(A2)評価値順による割りつけ
(A3)AG と PG に分割しての割りつけ
(A4)奥野の線点図に対する割りつけ
(A5)分割実験への対応

上記割りつけ作業を行っていった場合、途中で割りつけが不可能になる場合がある。こういった状態になった場合は、1 つ前の因子の割りつけをやり直さなければならない。これをバックトラックと呼ぶ。良いアルゴリズムは、バックトラックの回数が少ないものである。

4. 2 直交表生成ソフト Galois

前節までに述べた割りつけアルゴリズムを用いて、直交表実験計画を自動構成し、実験後のデータ解析もすることが可能なプログラム Galois を Windows 上で Visual C++ 6.0 を使って開発した[2]。プログラムを起動すると、ダイアログボックスが表示されるので、自動構成に必要なデータである因

子数・水準数の入力を行い、次にすでに述べた割りつけアルゴリズムのうち、適当な１つを選択し、2 因子交互作用を設定するために 2 因子交互作用ボタンを押す。2 因子交互作用の設定の後、次に直交表作成（自動）ボタンを押すと、各因子の $PG(n,q)$の点への割りつけ結果と共にG行列や必要な実験回数が最小である最適な直交表を生成してくれる。水準数は、2・3・4・5・7・8・9 水準に対して可能であり、田口の線点図や奥野の線点図（Resolution IV）、また分割実験にも対応している。また、割りつけ可能な有限射影幾何は、現状では、$PG(1,2)$～ $PG(7,2)$、$PG(1,3)$～$PG(6,3)$、$PG(1,4)$～$PG(3,4)$、$PG(1,5)$～$PG(3,5)$、$PG(1,7)$～$PG(3,7)$、$PG(1,8)$～$PG(3,8)$、$PG(1,9)$～$PG(2,9)$のようになっており、実用上からは十分と考えている。

5. 直交表のソフトウェアテストへの応用

ソフトウェアのバグを取り除くためテストが行われる。しかし、携帯電話などに見られるようにそのソフトウェアの量は膨大となり、すべてのテスト項目をチェックすることはテスト項目数が非常に多く、実施は不可能に近く効率も悪い。そこで、テスト項目の一部だけをテストするのに実験計画法における直交表を利用する方法が考えられた。それは直交表のバランスの良さを利用する方法といえる。直交表をソフトウェアテストに応用する際、実験計画におけるパラメータの意味は、次のようになる。

実験回数	→	テスト回数
因子	→	関数やサブルーチンの引数
水準	→	引数のとる値
強さ t	→	t因子間の全組合せチェックを保証

5.1 直交表生成ソフト Galois を利用

直交表のバランスの良さというのは、「任意の t個の因子間において、すべての水準の組合せが必ず同数回存在するという」ことである。これには強さ tの直交表が利用できる。これはある意味で、テスト項目が一部に偏らないバランスの良いテストということになる。上記の直交表生成ソフト **Galois** を使用して、強さ 2 の直交表を構成したいときは、2 因子交互作用をなしとして生成してやればよく、強さ 3 の直交表を構成したいときは、割りつけ法で奥野の線点図を指定すればよく、強さ 4 の直交表を生成したいときは、すべての 2 因子交互作用があると指定して生成すればよい。

従って、この直交表生成ソフト **Galois** をソフトウェアテストに応用すると、それぞれ、すべての 2 因子間、3 因子間、4 因子間の組合せのチェックをすることが可能となる。もちろん、2因子間はすべて保証し、3因子間、4因子間は一部の因子間の組合せを保証するようにすることも可能である。

5.2 直交表から被覆配列へ

ソフトウェアテストに限ると、直交表における「t個の組合せが同数回存在する」という条件は厳しすぎて、「t個の組合せが少なくても１回以上存在する」でいいのである[3]。これにより、テスト回数の削減が期待される。

被覆配列 $CA(N, m, q, t)$とは、Sの要素を持ち、次の条件を満たす$m \times N$ 配列である。

条件；任意の t 行において、S^t の各要素が列として少なくても１回現れる。

このときの tを強さという。我々は強さ２の被覆配列の構成法を研究し、コンピュータで生成するアルゴリズムを開発した。また藤原ら[4]は強さ３の生成法を研究している。

5.3 強さ２の被覆配列の構成法

以下に述べる方法で、強さ２の被覆配列を簡単に生成することができる。

A1. $PG(1, q)$の点を作成する。
A2. Lを $PG(1, q)$の点の数とする。
A3. 引数 F_1～F_Lまでを $PG(1, q)$の点に割りつけ、対応するG行列を求める。
A4. G行列から直交表 $L \times q^2$ を作成する。
A5. $m \leqq L$だったら終了する。mは引数の数。
A6. そうでない場合、F_1～F_Lの直交表と同じものをF_{L+1}～F_{2L}にコピーする。
A7. F_1～F_{L+1}, F_2～F_{L+2}, … , F_L～F_{2L}が「任意の２つの引数間において、すべての水準組み合わせが 1 回以上存在する」という条件に反するので、足らない組合せを補う。足らない組合せは、2 つの因子間において異なる水準の組合せである。
A8. $L=2L$とする。5に戻る。

このアルゴリズムで作成した被覆配列のテスト回数Nは$N=q^2+k(q^2-q)$となる。ただし、$k \geqq 0$ で$(q+1)2^k \geqq m$の式より最小の整数kを取るように定める。

6. まとめ

我々が開発した直交表生成ソフト **Galois** は、多因子・多水準(2・3・4・5・7・8・9)、強さ 2,3,4 に対応した直交表が自由自在に自動構成できる。従って、この **Galois** をソフトウェアテストに応用すれば、2 因子間の全部の組合せのチェックはもちろん、一部は 3 因子間や 4 因子間のチェックもでき、必要なら 3 因子間、4 因子間の全組合せのチェックも可能である。

今後の課題として、**Galois** をソフトウェアテスト専用のシステムとするためには、入出力インタフェースの改善が必要である。また、さらに大きい水準数（11,13,16 など）に対応するためには、原始既約多項式や有限射影幾何の初期直線の入力が必要となる。

文献

[1] 須田健二、宮崎晴夫, 直交配列を用いた実験計画における要因割りつけのコンピュータ・アルゴリズムについて、日本経営工学会誌、Vol.37、 No.6, pp.345－352, 1987.
[2] 須田健二, 直交表による実験計画の計画・解析ソフトの開発、情報処理学会第 66 回全国大会、2004.
[3] 石井康雄, ソフトウェアの検査と品質保証， 日科技連、1986.
[4] 藤原良：“検査計画のための被覆配列の構成に関して”、「実験計画法とその周辺における組合せ的構造の解明とその応用」に関する研究集会、科学研究費基盤研究(B) 課題番号 12554002、2003.