
All-pair法：組み合わせ試験 の最前線

「組み合わせテストについて」
土屋達弘, 菊野亨 (大阪大学)


組み合わせテスト (Combinatorial Testing)

- すべての k 個のパラメータについて, それらの値の組み合わせをすべてテストする手法
- ペアワイズテスト, All-Pair法
 - $k = 2$

All-Pair法: テストケースの例

- テストケースの例
 - 因子(パラメータ) 3個
 - 水準(値の種類) 3通り

- テスト数

$3^4 = 81$  9
全数テスト All-Pair

	P1	P2	P3	P4
Test 1	0	0	0	0
Test 2	1	1	1	0
Test 3	2	2	2	0
Test 4	0	1	2	1
Test 5	1	2	0	1
Test 6	2	0	1	1
Test 7	0	2	1	2
Test 8	1	0	2	2
Test 9	2	1	0	2

All-Pair法の背景

- フォールトの多くは、少数のパラメータ値の組み合わせによって顕在化する
 - Kuhn等の研究
 - R.D.Kuhn et al. “Software Fault Interactions and Implications for Software Testing,” IEEE Transactions on Software Engineering, 30(6), June 2004

All-Pair法の背景

- FTFI (failure-triggering fault interaction)
 - フォールトに関係しているパラメータ数

FTFI	エキスパートシステム				OS	組込み	Netscape N.	Apache	DB
1	61	72	48	39	82	66	29	42	68
2	36	10	6	8	*	31	47	28	25
3	*na	*	*	*	*	2	19	19	5
4	*	*	*	*	*	1	2	7	2
5	*	*	*	*	*		2	0	
6	*	*	*	*	*		1	4	

1,000 ~ 10,000 LoC

100,000 LoC

テストケース作成法

- 数学的な手法

- 手動でも構成可能

- 手順:

- 1. 基本となる表(ビルディングブロック)を構成
 2. 表を組み合わせて, 因子数を増加

- コンピュータによる探索

- ツールの利用

数学的な手法 … ビルディングブロック

- 水準 V が素数の場合 (例 . $V = 3$)
 - $V+1$ の因子に対し, $V*V$ 個のテストでペアを網羅

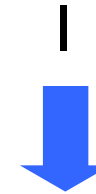
I	J	P=0	P=1	P=2	P=3
0	0				
0	1				
0	2				
1	0				
1	1				
1	2				
2	0				
2	1				
2	2				

テスト数
 $V*V$

因子数 (パラメータ数) $V+1$

数学的な手法・・・ビルディングブロック

- ステップ1 . $P=V$ の列をIの値に設定



I	J	P=0	P=1	P=2	P=3
0	0				0
0	1				0
0	2				0
1	0				1
1	1				1
1	2				1
2	0				2
2	1				2
2	2				2

テスト数
 $V*V$

因子数 (パラメータ数) $V+1$

- ステップ2. $P=0 \sim V-1$ の列の各エントリーを以下の値に設定

$$(I * P + J) \% V$$

I	J	P=0	P=1	P=2	P=3
0	0				0
0	1				0
0	2				0
1	0				1
1	1				1
1	2				1
2	0				2
2	1				2
2	2				2

テスト数
 $V * V$

因子数 (パラメータ数) $V+1$

$$\begin{matrix} (I*0 + J) \% 3 & (I*1 + J) \% 3 & (I*2 + J) \% 3 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ (I*P + J) \% V \end{matrix}$$

I	J	P=0	P=1	P=2	P=3
0	0				0
0	1				0
0	2				0
1	0				1
1	1				1
1	2				1
2	0				2
2	1				2
2	2				2

テスト数
V*V

因子数 (パラメータ数) V+1

$$(I * P + J) \% V$$

$$(I * 0 + J) \% 3$$

$$(I * 1 + J) \% 3$$

$$(I * 2 + J) \% 3$$



テスト数
 $V * V$

I	J	P=0	P=1	P=2	P=3
0	0	0	0		0
0	1	1	1		0
0	2	2	2		0
1	0	0	1		1
1	1	1			1
1	2	2			1
2	0	0			2
2	1	1			2
2	2	2			2

因子数 (パラメータ数) $V+1$

$$(I * P + J) \% V$$

$$(I * 0 + J) \% 3$$

$$(I * 1 + J) \% 3$$

$$(I * 2 + J) \% 3$$



テスト数
 $V * V$

I	J	P=0	P=1	P=2	P=3
0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	0
0	2	2	2	2	0
1	0	0	1	2	1
1	1	1	2	0	1
1	2	2	0	1	1
2	0	0	2	1	2
2	1	1	0	2	2
2	2	2	1	0	2

因子数 (パラメータ数) $V + 1$

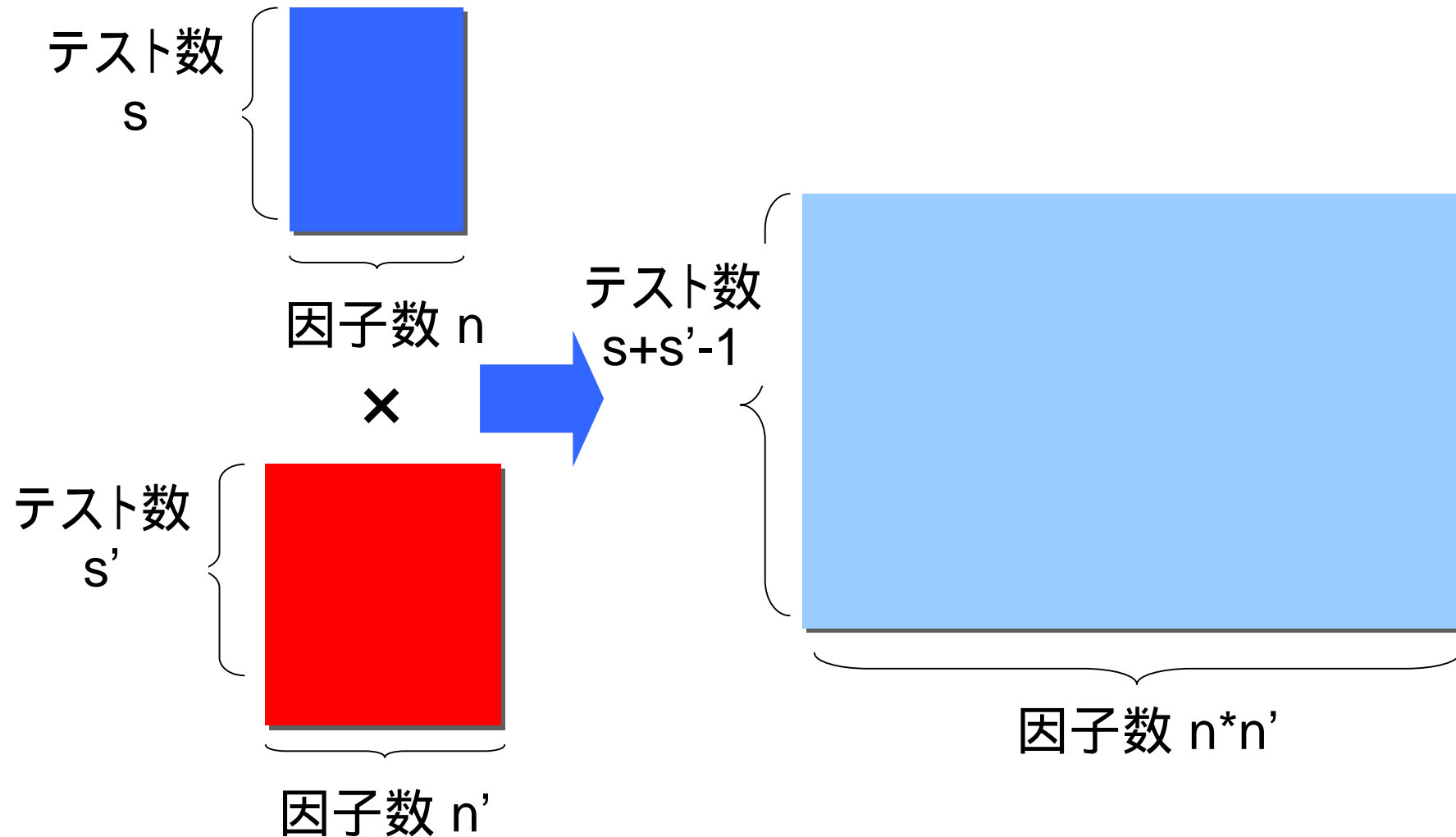
数学的な手法・・・表の組み合わせ

- 基本となる表(ビルディングブロック)
 - 因子(パラメータ) $V+1$ 個 (水準 V は素数)
 - テスト $V*V$ 個
- もっと多くの因子(パラメータ)が必要になったら？

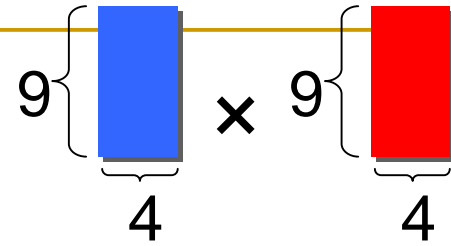


表を2つ組み合わせて因子数を増やせる！

数学的な手法・・・表の組み合わせ



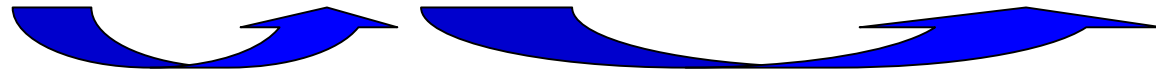
表の組み合わせ



0	0	0	0
1	1	1	0
2	2	2	0
0	1	2	1
1	2	0	1
2	0	1	1
0	2	1	2
1	0	2	2
2	1	0	2

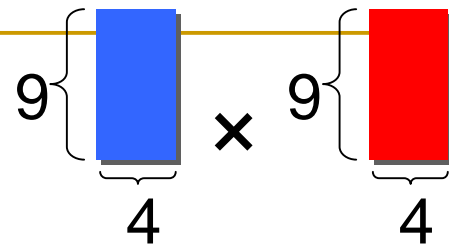


網羅されている 網羅されている



まだ網羅されていない

表の組み合わせ

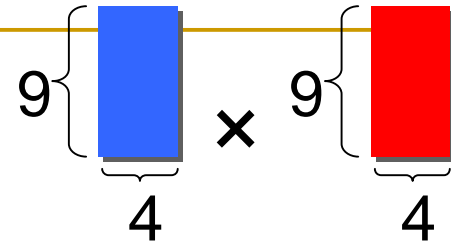


0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
2	2	2	0	2	2	2	0	2	2	2	0	2	2	2	0
0	1	2	1	0	1	2	1	0	1	2	1	0	1	2	1
1	2	0	1	1	2	0	1	1	2	0	1	1	2	0	1
2	0	1	1	2	0	1	1	2	0	1	1	2	0	1	1
0	2	1	2	0	2	1	2	0	2	1	2	0	2	1	2
1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2	2
2	1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2

0	0	0	0
1	1	1	0
2	2	2	0
0	1	2	1
1	2	0	1
2	0	1	1
0	2	1	2
1	0	2	2
2	1	0	2

網羅！

表の組み合わせ

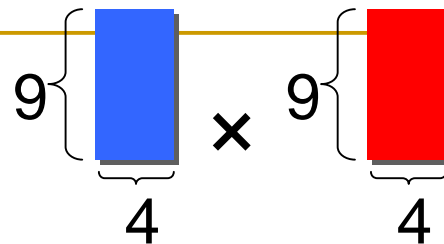


0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
2	2	2	0	2	2	2	0	2	2	2	0	2	2	2	0
0	1	2	1	0	1	2	1	0	1	2	1	0	1	2	1
1	2	0	1	1	2	0	1	1	2	0	1	1	2	0	1
2	0	1	1	2	0	1	1	2	0	1	1	2	0	1	1
0	2	1	2	0	2	1	2	0	2	1	2	0	2	1	2
1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2	2
2	1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2

不要 →

0	0	0	0
1	1	1	0
2	2	2	0
0	1	2	1
1	2	0	1
2	0	1	1
0	2	1	2
1	0	2	2
2	1	0	2

表の組み合わせ



テスト数

$$9+9-1$$



17

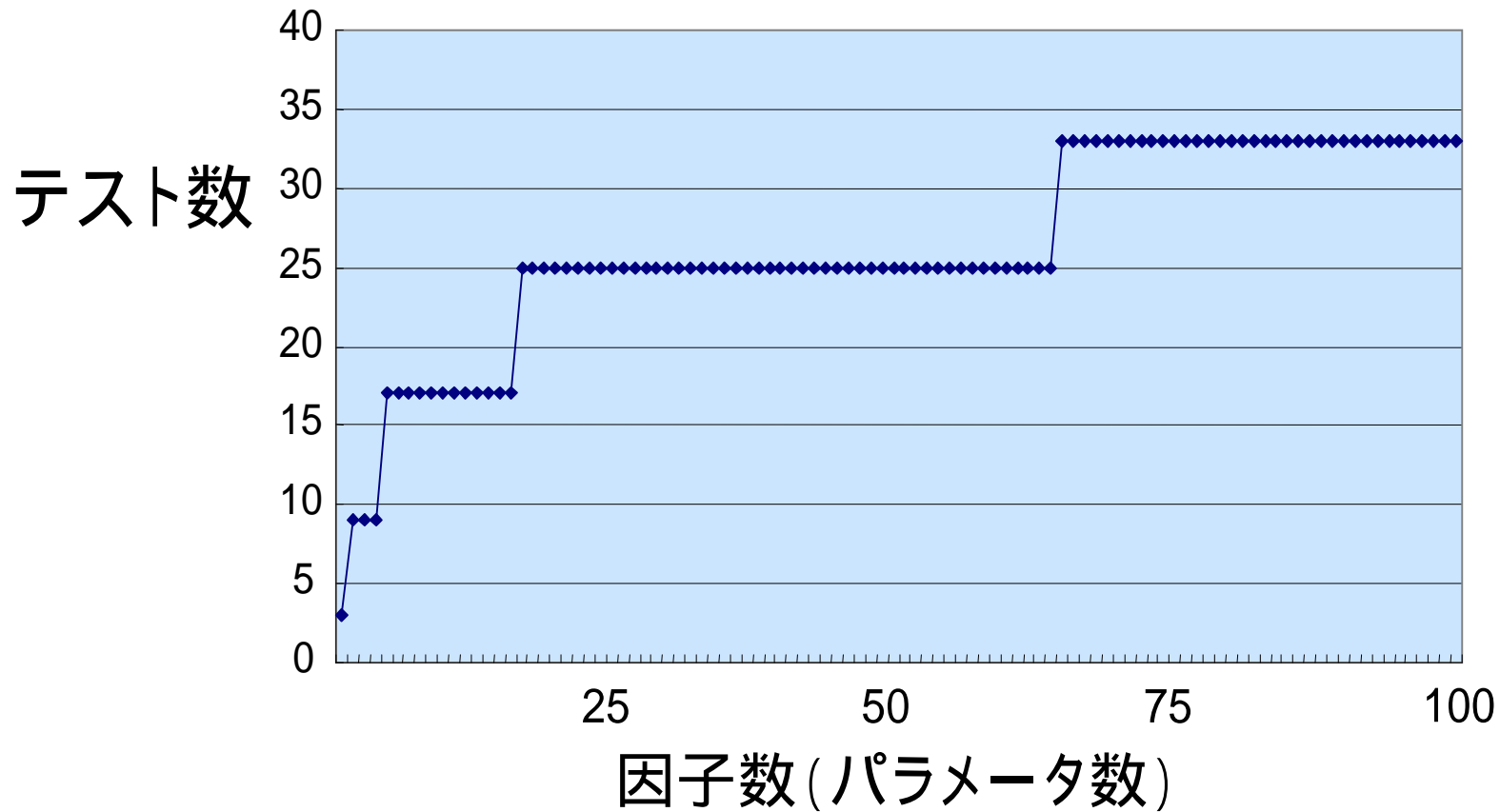
足し算

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
2	2	2	0	2	2	2	0	2	2	2	0	2	2	2	0
0	1	2	1	0	1	2	1	0	1	2	1	0	1	2	1
1	2	0	1	1	2	0	1	1	2	0	1	1	2	0	1
2	0	1	1	2	0	1	1	2	0	1	1	2	0	1	1
0	2	1	2	0	2	1	2	0	2	1	2	0	2	1	2
1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2	2
2	1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2
1				1				1				0			
2				2				2				0			
0				1				2				1			
1				2				0				1			
2				0				1				1			
0				2				1				2			
1				0				2				2			
2				1				0				2			

因子数(パラメータ数)

$$4*4 \rightarrow 16 \text{ 掛け算}$$

テスト数の推移



必要なテストは因子数に対して対数的にしか増えない！

制約への対処

- 水準の異なる因子
 - パラメータによって値の数が異なる

- 禁則回避
 - 組み合わせることのできない値

水準の異なる因子

- ステップ1. 水準毎に表を作成

3水準

2水準

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
2	2	2	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1
0	1	2	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
1	2	0	1	1			1			0		
2	0	1	1	0			1			1		
0	2	1	2	1			0			1		
1	0	2	2									
2	1	0	2									

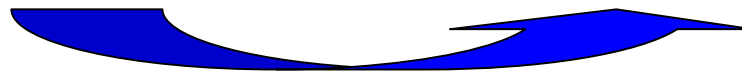


まだ網羅されていない

水準の異なる因子

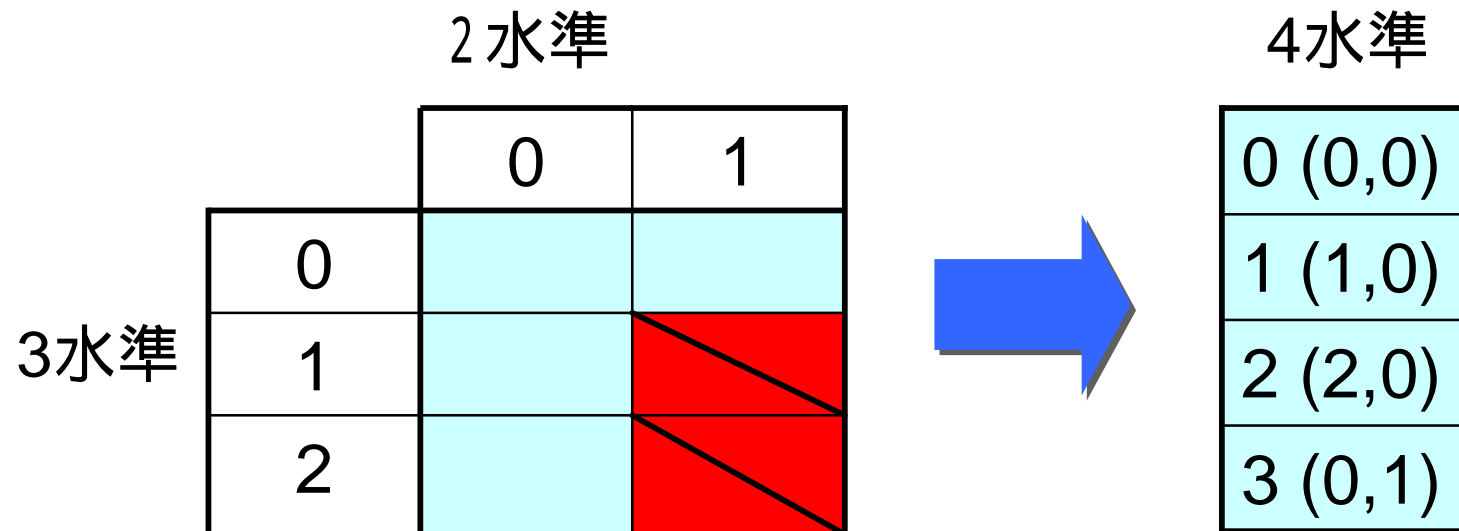
■ ステップ2. 水準間を網羅

3水準				2水準								
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
2	2	2	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1
0	1	2	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
1	2	0	1	1			1			0		
2	0	1	1	0			1			1		
0	2	1	2	1			0			1		
1	0	2	2									
2	1	0	2									
0				1								
1				0								
2				1								
2				0								
2				1								



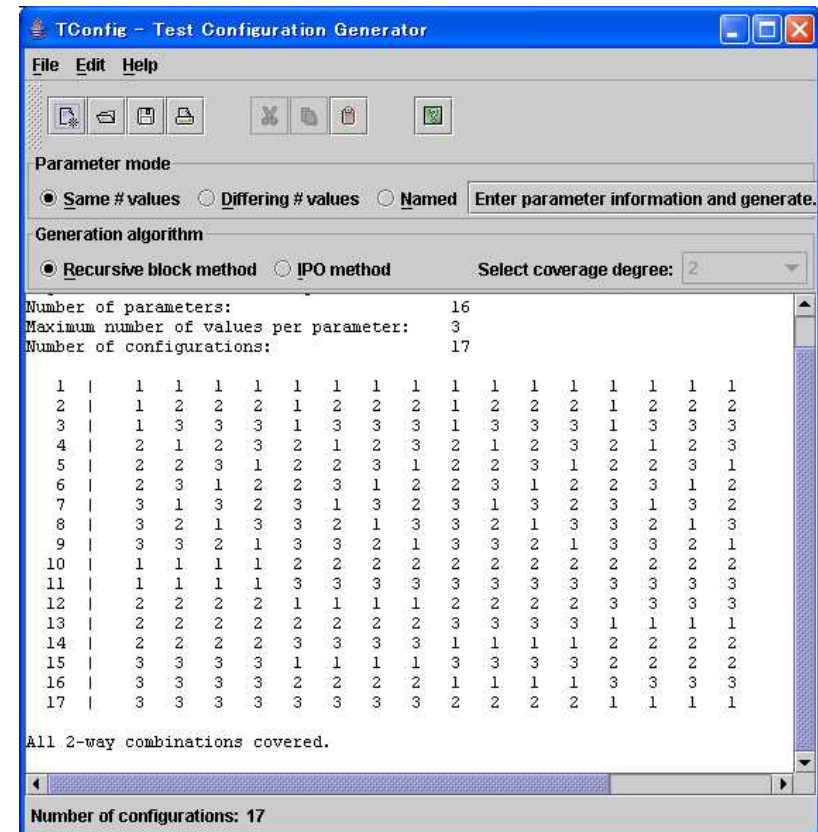
禁則回避

- 禁則を考慮して, 関係のある因子を結合



テストケース作成法

- 数学的な手法
 - 手動でも構成可能
 - ツール (例 . TConfig)
- コンピュータによる探索
 - ツールの利用



アルゴリズムの例

- 一度に表を作成
 - ヒルクライミング
 - シミュレイティッド・アニーリング
 - タブサーチ

- 1つずつテストを作成
 - 遺伝アルゴリズム*
 - アントアルゴリズム*
 - *T. Shiba, T. Tsuchiya, T. Kikuno, “Using Artificial Life Techniques to Generate Test Cases for Combinatorial Testing,” COMPSAC 2004.

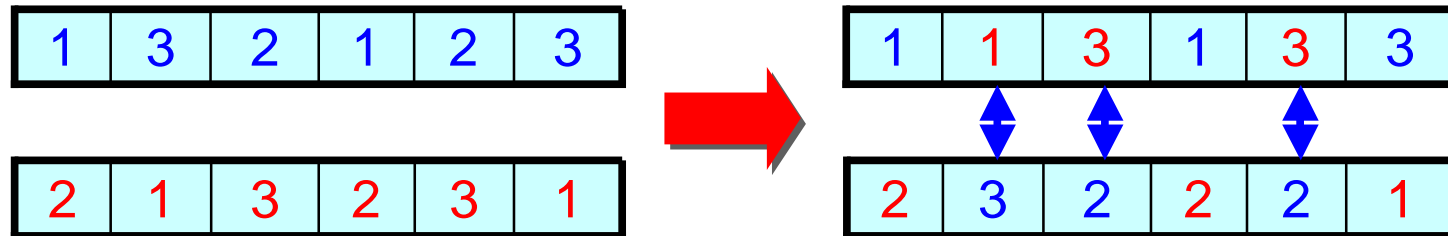
例 . 遺伝アルゴリズム (GA)

テストケースを進化させてAll-Pairを網羅

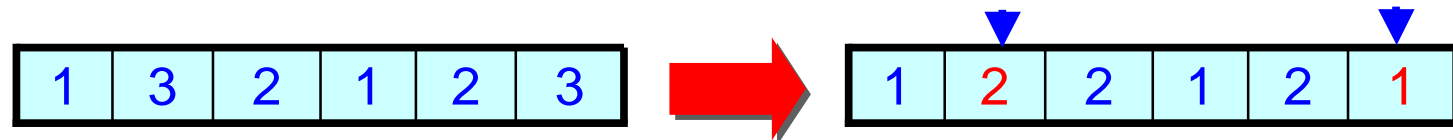
■ 染色体

□ テストケース


■ 交叉



■ 突然変異



まとめ

- All-Pair法のテスト作成法について説明
 - 数学的な手法
 - 探索に基づく手法
 - 性質
 - 因子の数に対し, テストが対数的にしか増えない
- 
- 既存のテスト手法と相補的な利用の可能性