

平成 22 年度  
学士学位論文

# 難読言語 Malbolge の逆コンパイル困難 性に関する研究

A study on the difficulty of the decompilation of an  
esoteric programming language Malbolge

1110243 菅 優也

指導教員 高田 喜朗

2011 年 3 月 1 日

高知工科大学 情報システム工学科

# 要 旨

## 難読言語 Malbolge の逆コンパイル困難性に関する研究

菅 優也

プログラム中のアルゴリズムやデータ構造を秘密に保つために、実行結果を保ったままプログラムを解析しにくいように書き直す難読化と呼ばれる技術がある。

難読化の研究の一つにプログラムを難読言語に変換するというものがある。難読言語とは、いかにプログラミング言語上でプログラムの作成を困難にするかを目標とした言語である。飯澤は、「この世で一番分かり辛くする事」を目標とした Malbolge にプログラムを変換することで難読化を行っている。

この手法では、プログラムを機械的に Malbolge プログラムへ変換しているため、作成された Malbolge プログラムから機械的に元のプログラムへ復元できる可能性がある。飯澤も逆コンパイルの可能性について触れているものの、実際に逆コンパイルを行うなどの検証を行っておらず、難読効果の検証が不十分である。そこで本論文では飯澤の手法に対し、実際に逆コンパイラを作成することで難読効果の検証を行った。

結論として、作成した逆コンパイラにより元のプログラムと同等のものを出力することができたため、飯澤の難読化方法は難読効果が弱いといえる。一方、Malbolge の仕様を利用し、変換した Malbolge プログラムの前後にダミーコードを追加することで難読効果を向上させることができるという考察も得られた。

キーワード 難読化, 難読言語, Malbolge, 逆コンパイル

# Abstract

## A study on the difficulty of the decompilation of an esoteric programming language Malbolge

Yuya KAN

Obfuscation is a technique to rewrite a program without changing execution results in order to make it difficult to analyze and to keep its algorithm and data structure secret.

Izawa proposed an obfuscation method in which a program is converted into an esoteric programming language Malbolge. An esoteric programming language is a language that aims at making it difficult to construct or understand a program. Malbolge is one of esoteric programming languages and aims at being the most difficult in the world to understand the construction of a program. However, Izawa's obfuscation is mechanical conversion and has possibility that we can reconstruct the original program from a Malbolge program. Though Izawa has mentioned the possibility of decompilation, sufficient investigation of the effectiveness of the obfuscation has never been given. Therefore this thesis investigate the effectiveness of Izawa's obfuscation by constructing a decompiler.

As a result, Izawa's obfuscation is vulnerable to decompile because the decompiler reconstruct the original program from a Malbolge program. However, it is also found that the obfuscation can be improved by adding some dummy code at the top and bottom of a program.

**key words**      obfuscation, esoteric programming languages, Malbolge, decompilation

# 目次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	Malbolge	2
2.1	特徴 . . . . .	2
2.2	処理 . . . . .	4
2.3	実行例 . . . . .	5
第 3 章	先行研究	9
第 4 章	逆コンパイラ	11
4.1	基本方針 . . . . .	11
4.2	問題 . . . . .	11
4.3	解決方法 . . . . .	12
4.3.1	解析位置の移動 . . . . .	12
4.3.2	条件分岐 . . . . .	13
	無条件分岐 (ZERO 分岐) の判定 . . . . .	13
	分岐先の操作 . . . . .	14
	分岐先の特定 . . . . .	15
4.3.3	無限ループの防止 . . . . .	16
4.3.4	終了処理の回避 . . . . .	17
第 5 章	実験	18
5.1	実験結果 . . . . .	18
5.2	考察 . . . . .	18
第 6 章	まとめ	20

## 目次

謝辞	21
参考文献	22
付録 A Malbolge のインタプリタ [2]	23
付録 B 逆コンパイル対象の Malbolge プログラム [2]	26

# 図目次

3.1	変換手順 . . . . .	9
3.2	言語間関係 . . . . .	10
4.1	高級アセンブリ言語命令 BRANCH の構成 [2] . . . . .	13

# 表目次

2.1 レジスタの役割 . . . . .	3
2.2 Malbolge の命令 . . . . .	3
2.3 演算子 <i>op</i> . . . . .	4
2.4 1 回目の実行 . . . . .	5
2.5 2 回目の実行 . . . . .	6
2.6 全体の処理 . . . . .	6
2.6 全体の処理 . . . . .	7
2.6 全体の処理 . . . . .	8

# 第 1 章

## はじめに

プログラム中のアルゴリズムやデータ構造を秘密に保つ方法として，難読化と呼ばれる方法がある．難読化には，シンボル名をわかりやすい名前から関連性のない別の名前に変更する方法や，オブジェクトコード中の配列データに対して暗号化を行うなどさまざまな方法が存在する [4] ．

難読化の研究の一つにプログラムを難読言語に翻訳するという方法がある [2] ．難読言語とは，通常のプログラミング言語と異なり，いかに言語上でのプログラムの作成を困難にするかを目的とした言語である．飯澤 [2] は難読言語の中でも特に悪辣として知られている Malbolge にプログラムを翻訳することで難読化を行っている．Malbolge は「この世で一番分かり辛くする事」を目的としており，あまりの難解さのため Malbolge で作成されたプログラムはごく少数しか知られていない [1] ．

飯澤の手法ではプログラムを機械的に Malbolge プログラムへ翻訳を行っていることから，逆コンパイルによって機械的に元のソースコードへ復元できる可能性がある．飯澤も，論文で逆コンパイルの可能性に触れているが，実際にどの程度可能か等について調べておらず，難読効果の検証が不十分である．

本論文では飯澤の手法に対し，実際に逆コンパイラを作成することで難読化の効果について検証を行う．以降，本論文では，2 章で Malbolge，3 章で飯澤の手法について説明し，4 章で逆コンパイラを作成する際に生じる問題とその解決策を記述する．また，5 章では逆コンパイル結果に対する考察を記述する．



## 第 2 章

# Malbolge

### 2.1 特徴

Malbolge で記述されたプログラム (Malbolge プログラム) は文字コード 33 ~ 126 の印字可能な範囲の文字でのみ記述される。また、記述されている文字の文字コードと記述されている位置によって処理が行われる。以下に Malbolge プログラムの例を記す。このプログラムは “Hello, world” を出力するプログラムである。この動作については 1.1.3 で詳しく説明する。

```
(=<' :9876Z4321UT.-Q+*)M'&%$H"!~}|Bzy?={z]KwZY44Eq0/{mlk**  
hKs_dG5[m_BA{?-Y;;Vb'rR5431M}/.zHGwEDCBA@98\6543W10/.R,+0<
```

Malbolge では数値を 3 進数で表現し、1 ワードは 3 進数 10 桁となっている。この範囲を 10 進数で表すと 0 ~ 59048 となる。以降では 3 進数を表記する場合、値の末尾に ‘t’ をつけて表現する。これは 3 進数の 1 桁を表す単位である trit(トリット) の略である。また、Malbolge は 59049 ワードのメモリとコードポインタ C、データポインタ D、アキュムレータ A の 3 つのレジスタを持っている。レジスタのサイズはすべて 1 ワードであり、それぞれのレジスタは表 2.1 のような役割となっている。以降ではレジスタの差すアドレス内の値を  $\llbracket$  を用いて表す。

Malbolge は  $t_{op}$ 、 $t_{up}$  という 2 つの変換テーブルを持っている。これらの変換テーブルは処理系に定義されており、それぞれ 0 ~ 93 の値を文字に対応させている。 $t_{op}$  は命令を算出するために、 $t_{up}$  は実行した命令を書き換えるためにそれぞれ使用される。

## 2.1 特徴

表 2.1 レジスタの役割

A	アキュムレータ	計算用レジスタ
C	コードポインタ	命令のアドレスを保持するたのレジスタ
D	データポインタ	主にデータのアドレスを保持するためのレジスタ

Malbolge の命令は 8 つしかない．Malbolge の命令は  $t_{op}[(\llbracket C \rrbracket - 33 + C) \bmod 94]$  によって得られた文字が各命令のどの文字に等しいかで決まる．Malbolge の命令と動作は表 2.2 のようになる [2]．また，表 2.2 のような動作を行う各命令について以降では飯澤の方法にあわせて JMP , MOV\_D , OPR , ROT , INPUT , OUTPUT , NOP , HALT として扱う．

表 2.2 Malbolge の命令

$t_{op}[(\llbracket C \rrbracket - 33 + C) \bmod 94]$ の値	表記	動作	説明
‘i’(=105)	JMP	$C := \llbracket D \rrbracket$	ジャンプ命令． $\llbracket D \rrbracket$ が示すアドレスへコードポインタを移動する．
‘j’(=106)	MOV_D	$D := \llbracket D \rrbracket$	D レジスタのジャンプ命令． $\llbracket D \rrbracket$ が示すアドレスへデータポインタを移動する．
‘p’(=112)	OPR	$A, \llbracket D \rrbracket := op(A, \llbracket D \rrbracket)$	演算命令．A と $\llbracket D \rrbracket$ とともに $op(A, \llbracket D \rrbracket)$ を代入する．
‘*(=42)	ROT	$A, \llbracket D \rrbracket := rotr(\llbracket D \rrbracket)$	右ローテート命令． $\llbracket D \rrbracket$ の右ローテートを計算し，結果を A, $\llbracket D \rrbracket$ に代入する．
‘/’(=47)	INPUT	$A := input()$	入力命令．標準入力から 1 文字入力して A に代入する．
‘i’(=60)	OUTPUT	$output(A)$	出力命令．標準出力へ A の値を出力する．
‘o’(=111)	NOP	(無し)	無操作命令．処理を行わない．
‘v’(=118)	HALT	$exit$	停止命令．プログラムの実行を停止する．

Malbolge には  $op$  という特殊な演算を行う命令が存在する． $op$  が実行された場合，A と  $\llbracket D \rrbracket$  で同じ桁の値について表 2.3 にあてはめ，得られた値を A と  $\llbracket D \rrbracket$  に格納するという処

## 2.2 処理

理を行う．

表 2.3 演算子  $op$

		$X_i$		
		0	1	2
$Y_i$	0	1	0	0
	1	1	0	2
	2	2	2	1

例えば， $op(0001112220t, 0120120120t)$  という演算の場合， $1120020211t$  となる．

## 2.2 処理

Malbolge プログラムは以下の手順で実行される．

1. Malbolge プログラムの値すべてをメモリにロードする．
2.  $C$  の値を基に， $t_{op}[(\llbracket C \rrbracket - 33 + C) \bmod 94]$  の値を読み，それを命令として実行する．
3.  $\llbracket C \rrbracket$  を  $t_{up}[\llbracket C \rrbracket - 33]$  の値に書き換える．
4.  $C$  と  $D$  をインクリメントする．
5. 2. へ戻る．

1. ～ 3. の過程について説明する．

1. では Malbolge プログラムを 1 文字ずつメモリにロードしている．このとき，読み込まれる文字が Malbolge の命令に対応していることを確認する．表 2.2 のように，Malbolge では  $t_{op}[(\llbracket C \rrbracket - 33 + C) \bmod 94]$  によって得られた文字を用いて命令を決定している．メモリロード時には読み込まれる文字 1 つ 1 つに対してこの処理を行い，読み込まれる文字が必ず 8 つの命令のどれかに対応していることを確認する．もし対応する命令が存在しない場合，プログラムのロードに失敗したと判断され実行を中止する．

2. からはメモリ内の値を用いて実行する．

## 2.3 実行例

2. では 1. と同じように  $t_{op}[(\llbracket C \rrbracket - 33 + C) \bmod 94]$  によって得られた文字が、8 つの命令のどれに対応しているか調べ、対応する命令を実行する。このとき 1. とは違い対応する命令が存在しない場合は NOP として処理する。

3. では実行が完了した  $\llbracket C \rrbracket$  に対して、値の書き換え処理を行う。書き換える値は  $t_{up}[\llbracket C \rrbracket - 33]$  によって得られた文字を使用し、その文字を  $\llbracket C \rrbracket$  に書き込むことで完了する。

このように、メモリロード後は 2. と 3. の処理の繰り返しになる。また、Malbolge の実行は終了命令である HALT が読み込まれるまで繰り返される。

## 2.3 実行例

ここでは “Hello, world” を出力する Malbolge プログラムを例として実行の様子を説明する。“Hello, world” を実行する Malbolge プログラムは以下のようになる。

まず、メモリにプログラムがロードされ C, D, A すべて 0 として実行を開始する。

$C = 0$ ,  $\llbracket 0 \rrbracket = '(' = 40$  より  $(40 - 33 + 0) \bmod 94 = 7$  となり,  $t_{op}[7] = 'j'$  より “MOV\_D” 命令が実行される。この命令により  $D = 40$  となる。また、C と D をインクリメントすることにより  $C = 1$ ,  $D = 41$  となり、次の処理に移る。

表 2.4 1 回目の実行

回数	実行前			実行 命令	実行直後		
	A	C	D		A	C	D
1	0	0 $\llbracket 40 \rrbracket$	0 $\llbracket 40 \rrbracket$	MOV_D	0	0 $\llbracket 40 \rrbracket$	40 $\llbracket 122 \rrbracket$

$C = 1$ ,  $\llbracket 1 \rrbracket = '=' = 61$  より  $(61 - 33 + 1) \bmod 94 = 29$  となり,  $t_{op}[29] = 'p'$  より “OPR” 命令が実行される。この命令により  $op(0000000000t, 0000010110t) = 1111111111t$  となり、A および  $\llbracket D \rrbracket$  に 1111111111t が格納される。

3 回目以降も同様に処理が繰り返される。この処理は停止命令である HALT が読み込まれるまで続く。

## 2.3 実行例

表 2.5 2 回目の実行

回数	実行前			実行 命令	実行直後		
	A	C	D		A	C	D
1	0	0[40]	0[40]	MOV_D	0	0[40]	40[122]
2	0	1[61]	41[93]	OPR	29524	1[61]	41[29524]

表 2.6: 全体の処理

回数	実行前			実行 命令	実行直後		
	A	C	D		A	C	D
1	0	0[40]	0[40]	MOV_D	0	0[40]	40[122]
2	0	1[61]	41[93]	OPR	29524	1[61]	41[29524]
3	29524	2[60]	42[75]	OPR	72	2[60]	42[72]
4	72	3[96]	43[119]	OUTPUT	72	3[96]	43[119]
5	72	4[58]	44[90]	OPR	29506	4[58]	44[29506]
6	29506	5[57]	45[89]	OPR	35	5[57]	45[35]
7	35	6[56]	46[52]	OPR	29507	6[56]	46[29507]
8	29507	7[55]	47[52]	OPR	44	7[55]	47[44]
9	44	8[54]	48[69]	OPR	29541	8[54]	48[29541]
10	29541	9[90]	49[113]	OUTPUT	29541	9[90]	49[113]
11	29541	10[52]	50[48]	OPR	73	10[52]	50[73]
12	73	11[51]	51[47]	OPR	29552	11[51]	51[29552]
13	29552	12[50]	52[123]	OPR	60	12[50]	52[60]
14	60	13[49]	53[109]	OPR	29548	13[49]	53[29548]
15	29548	14[85]	54[108]	OUTPUT	29548	14[85]	54[108]
16	29548	15[84]	55[107]	OUTPUT	29548	15[84]	55[107]
17	29548	16[46]	56[42]	OPR	60	16[46]	56[60]
18	60	17[45]	57[42]	OPR	29551	17[45]	57[29551]
19	29551	18[81]	58[104]	OUTPUT	29551	18[81]	58[104]
20	29551	19[43]	59[75]	OPR	45	19[43]	59[45]

## 2.3 実行例

表 2.6: 全体の処理

21	45	20[42]	60[115]	OPR	29491	20[42]	60[29491]
22	29491	21[41]	61[95]	OPR	44	21[41]	61[44]
23	44	22[77]	62[100]	OUTPUT	44	22[77]	62[100]
24	44	23[39]	63[71]	OPR	29542	23[39]	63[29542]
25	29542	24[38]	64[53]	OPR	80	24[38]	64[80]
26	80	25[37]	65[91]	OPR	29504	25[37]	65[29504]
27	29504	26[36]	66[109]	OPR	32	26[36]	66[32]
28	32	27[72]	67[95]	OUTPUT	32	27[72]	67[95]
29	32	28[34]	68[66]	OPR	29547	28[34]	68[29547]
30	29547	29[33]	69[65]	OPR	32	29[33]	69[32]
31	32	30[126]	70[123]	OPR	29499	30[126]	70[29499]
32	29499	31[125]	71[63]	OPR	55	31[125]	71[55]
33	55	32[124]	72[45]	OPR	29559	32[124]	72[29559]
34	29559	33[66]	73[89]	OUTPUT	29559	33[66]	73[89]
35	29559	34[122]	74[59]	OPR	29	34[122]	74[29]
36	29	35[121]	75[59]	OPR	29551	35[121]	75[29551]
37	29551	36[63]	76[86]	OUTPUT	29551	36[63]	76[86]
38	29551	37[61]	77[98]	JMP	29551	98[64]	77[98]
39	29551	99[57]	78[39]	OPR	54	99[57]	78[54]
40	54	100[56]	79[114]	OPR	29554	100[56]	79[29554]
41	29554	101[92]	80[82]	OUTPUT	29554	101[92]	80[82]
42	29554	102[54]	81[53]	OPR	77	102[54]	81[77]
43	77	103[53]	82[52]	OPR	29555	103[53]	82[29555]
44	29555	104[52]	83[51]	OPR	75	104[52]	83[75]
45	75	105[51]	84[49]	OPR	29548	105[51]	84[29548]
46	29548	106[87]	85[77]	OUTPUT	29548	106[87]	85[77]
47	29548	107[49]	86[125]	OPR	62	107[49]	86[62]

## 2.3 実行例

表 2.6: 全体の処理

48	62	108[[48]]	87[[47]]	OPR	29557	108[[48]]	87[[29557]]
49	29557	109[[47]]	88[[46]]	OPR	66	109[[47]]	88[[66]]
50	66	110[[46]]	89[[122]]	OPR	29540	110[[46]]	89[[29540]]
51	29540	111[[82]]	90[[72]]	OUTPUT	29540	111[[82]]	90[[72]]
52	29540	112[[44]]	91[[71]]	OPR	43	112[[44]]	91[[43]]
53	43	113[[43]]	92[[119]]	OPR	29486	113[[43]]	92[[29486]]
54	29486	114[[48]]	93[[69]]	NOP	29486	114[[48]]	93[[69]]
55	29486	115[[60]]	94[[68]]	HALT			

## 第 3 章

# 先行研究

この章では飯澤の難読化方法について本研究に必要な部分に限定して説明する．

飯澤は一般的な機能を持った C 風高級言語を作成し，図 3.1 のように徐々に変換を行うことで Malbolge プログラムの作成を行っている．なお，飯澤は高級アセンブリ言語の各命令を実現させる疑似コード用語に対して名前をつけていなかったが，本論文ではこれを中間言語と呼ぶ．

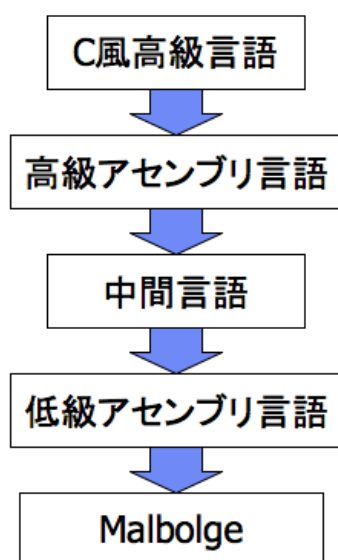


図 3.1 変換手順

詳しい手順は以下ようになる．

1. C 風高級言語から高級アセンブリ言語への変換



C 風高級言語から高級アセンブリ言語へは一般的なコンパイラと同じ処理によって変換する。

## 2. 高級アセンブリ言語から中間言語への変換

高級アセンブリ言語の各命令を実行させるための中間言語命令列をあらかじめ定義しており、高級アセンブリ言語の各命令はその定義にしたがって変換される。

## 3. 中間言語から低級アセンブリ言語への変換

低級アセンブリ言語では予めインクリメント、デクリメント、入力、出力、コピーの5つの処理を実現させている。中間言語の各命令はこれらの処理によって実現可能なため、低級アセンブリ言語の定義通りに変換する。

## 4. 低級アセンブリ言語から Malbolge への変換

低級アセンブリ言語とは、飯澤が考案したフラグや命令の復元といった処理を人間にわかりやすく記述した言語である。そのため、これらの処理を実際の Malbolge 命令に置き換えることで変換できる。

C 風高級言語から Malbolge までの関係は、図 3.2 のようになっている。

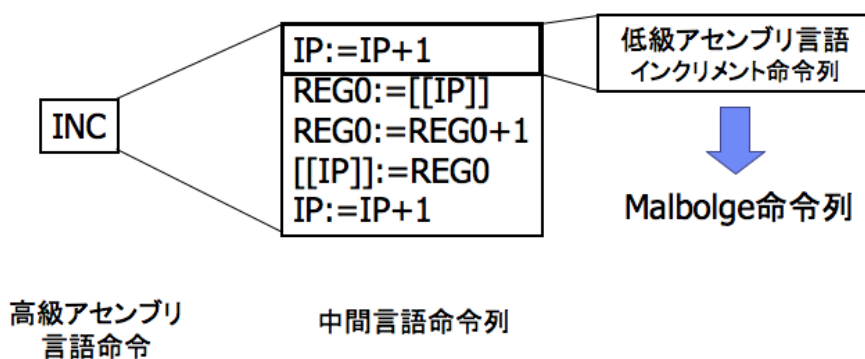


図 3.2 言語間の関係

図 3.2 では命令数が多くなるため低級アセンブリ言語と Malbolge の命令列は省略してある。図 3.2 のように、1 つの命令が複数の命令列に変換されていくため、1 つの高級アセンブリ言語命令を実行するには多くの Malbolge 命令が必要となる。

## 第 4 章

# 逆コンパイラ

### 4.1 基本方針

逆コンパイルの方法として，以下の 2 つの理由よりインタプリタを改造し実際に実行される命令を模倣しながら行う方法が望ましいと考えられる．

- 命令書き換え処理をも考慮して Malbolge プログラムを作成している．
- Malbolge プログラムから直接レジスタの値を追跡するのが困難である．

また，実行を模倣するが，逆コンパイラであるためユーザとのやりとりを行う INPUT と OUTPUT の 2 命令は実行させない．

C 風高級言語から高級アセンブリ言語の変換はコンパイル処理と同じであるため，本研究では Malbolge プログラムから高級アセンブリ言語プログラムの復元までを対象とする．

### 4.2 問題

逆コンパイラを作成するためには以下の問題を解決する必要がある．

#### 1. 解析位置の移動

終了命令が読み込まれた，あるいは解析済みの位置へ戻るなどの処理が発生した場合，解析位置を強制的に未解析の分岐先へ移動させる必要がある．

#### 2. 条件分岐

(a) 無条件分岐 (ZERO 分岐) の判定

## 4.3 解決方法

無条件分岐処理である ZERO 分岐では、条件が偽となった場合の処理が存在しない。そのため ZERO 分岐を判定し、偽の処理を解析しないようにする処理が必要となる。

### (b) 分岐先の操作

プログラム通りに解析を行うと解析が行われない分岐先が存在してしまう可能性がある。全分岐先の解析を行うためには、分岐条件の結果を強制的に変更する方法が必要となる。

### (c) 分岐先の特定

分岐先は条件が真となる時のみわかるようになっている。しかし、元の高級アセンブリ言語では偽となる場合の処理が分岐命令の下に続いて表記される。そのため分岐先を特定しつつ分岐条件が偽となる場合の分岐先の解析を行う方法が必要となる。

## 3. 無限ループの防止

無限ループが生じた場合、基本方針よりユーザによる脱出ができない。そのため、無限ループを検知し脱出する方法が必要となる。

## 4. 終了命令の回避

未解析の分岐先があるにもかかわらず終了命令が読み込まれた場合、終了命令を回避し解析を続ける方法が必要となる。

## 4.3 解決方法

### 4.3.1 解析位置の移動

高級アセンブリ言語と中間言語の関係は以下のようにになっている。

図 4.1 左側は高級アセンブリ言語の分岐命令を実行する機械語の定義である。3 ワードの命令で構成されており、実行する高級アセンブリ言語命令の下に分岐条件となるアドレスと分岐先のアドレスが記述されている。また、図 4.1 右側は高級アセンブリ言語の分岐命令を

## 4.3 解決方法

MOD_BRANCH	MOD_BRANCH:
分岐条件となるアドレス	IP := IP+1
分岐先のアドレス	REG0 := [[IP]]
	IP := IP+1
	if (REG0==0) {
	REG0 = [[IP]];
	IP = REG0;
	}
	IP := IP+1
	GOTO MAIN_LOOP

図 4.1 高級アセンブリ言語命令 BRANCH の構成 [2]

実行する中間言語命令列である。プログラムカウンタ (IP) は図 4.1 左側のアドレスを指し、プログラムカウンタの値を加算させることで実行する命令や使用する変数にアクセスしている。

この定義を基に Malbolge プログラムの作成を行っているが、実行する命令によって使用する変数のアドレスが異なるため、プログラム中の各命令ごとに上記のような構成で命令が格納されている。そのため命令を実行する場合、プログラムカウンタの値は命令ごとに異なる値を指す。この性質を利用することで以下のように解析位置を移動させることができる。

1. 未解析の分岐先のプログラムカウンタの値を記録する。
2. 解析位置を移動させる場合、プログラムカウンタの値を記録した値に強制的に書き換える。

### 4.3.2 条件分岐

無条件分岐 (ZERO 分岐) の判定

通常の条件分岐の場合、分岐条件となるアドレスは演算や入出力で使用されたアドレスとなるが、ZERO 分岐の場合、専用に用意されたアドレスを用いて無条件分岐を行っている。この違いを利用することで以下のように ZERO 分岐を特定することができる。

### 4.3 解決方法

1. 逆コンパイルを行う前に，一度 Malbolge プログラムの実行を模倣し分岐条件となる変数以外のアドレスを記録する．このときメモリの値は退避させておく．
2. Malbolge プログラムの実行の模倣が完了すると，退避させておいた値を使用しメモリを復元させ，逆コンパイル処理を開始する．
3. 分岐命令が読み込まれた場合，記録されたアドレスと照らし合わせる．
  - 記録された変数のアドレスに分岐条件となるアドレスが存在した場合  
通常に分岐処理とし，条件が偽となる場合と真となる場合の両方の処理を解析する．
  - 存在しなかった場合  
ZERO 分岐であるため条件が真となる場合のみ解析を行う．

#### 分岐先の操作

飯澤の分岐処理は分岐条件となるアドレス内の値が 0 であるかという条件で分岐を行っている．値の判定方法は分岐条件となる値をデクリメントすることで実現させている．デクリメント処理は 1 桁ごとにデクリメントを行うため，1 ワードは 3 進数 10 桁より 10 回シフトさせながらデクリメントを行っている．つまり，10 回桁下げが発生するかどうかで 0 判定を行っている．また，桁下げが発生しない場合，残りの処理はシフトのみ行うようになっている [3] ．

分岐条件を真とさせるには，常に桁下げが発生させなければならない．デクリメントを行う Malbolge 命令列の演算命令だけを抽出したものを以下に記す [3] ．

```
ROT 1111111111t
OPR X
ROT 2222222222t
OPR R
ROT 2222222222t
OPR R
OPR X
OPR Y
OPR R
```

### 4.3 解決方法

```
ROT 2222222222t
OPR R
ROT 0000000000t
OPR PAT21
OPR CF
ROT 2222222222t
OPR Y
ROT 2222222222t
OPR Y
OPR CF
ROT R
```

上記の CF はキャリーフラグの略である．また，上記の処理は 1 桁に対する処理であり，この処理を繰り返すことで桁下げ判定が行われる．常に桁下げを発生させるには 19 行目の処理後にキャリーフラグの値を書き換えなければならない．キャリーフラグの値は以下のようになる [3]．

- 桁下げが発生しなかった場合

デクリメント処理 (1 桁分) の実行前の値の最下位桁を 1 にした値が格納される．

- 桁下げが発生した場合

デクリメント処理 (1 桁分) の実行前の値の最下位桁を 0 にした値が格納される．

この仕組みを利用し，キャリーフラグの最下位桁を強制的に書き換えることで条件分岐を操作することができる．また，条件分岐を真とする場合は 10 回桁下げが必要なので 10 回すべての書き換えが必要だが，偽の場合残りはすべてシフト処理に移行するため書き換えは 1 回で済む．

#### 分岐先の特定

高級アセンブリ言語の定義より分岐条件となるプログラムカウンタの次の値を参照することと特定できると思えるが，実際の Malbolge 処理は  $\llbracket IP \rrbracket$  を計算した後，NOP によって D の値を調節しているため不可能である．NOP によりどれだけ位置が変わるのかを調べるためには，実際に処理が行われるときの C の値が必要となる．しかし，この C の値を取得す

## 4.3 解決方法

る方法は実際に実行する以外存在しないため、プログラムカウンタの値からでは移動先を取得することができない。よって移動先を調べるには、実際に実行し条件を真としなければならない。

出力する順番も考慮すると、以下のように処理を行う方法が考えられる。

1. 分岐命令が読み込まれると、プログラムカウンタの値を記録する。
2. 強制書き換えにより条件分岐を真とする。
3. 分岐先の値がわかると、分岐先の値を記録し 1. で記録したプログラムカウンタの値を使用し元の条件分岐処理に戻る。
4. 強制書き換えにより条件分岐を偽とする。

このような処理を行うことで、分岐先の取得と条件分岐が偽の場合の処理の解析を行うことができる。

### 4.3.3 無限ループの防止

無限ループを防止する方法として、分岐先の命令が実行済みであるか調べることで無限ループを検出する方法が考えられる。この方法は、上記のプログラムカウンタの性質を利用することで以下のように実現できる。

1. 高級アセンブリ言語命令が実行されるごとにプログラムカウンタの値を記録する。
2. 分岐先へ移動となったとき、移動先のプログラムカウンタの値を記録されているものと照らし合わせる。
  - 同じ値が存在しなかった場合  
通常通り移動する。
  - 同じ値が存在した場合  
移動を中止し、移動先を未解析の分岐先に変更する。また、未解析の分岐先が存在しない場合は終了させる。

## 4.3 解決方法

### 4.3.4 終了処理の回避

終了命令が読み込まれた場合、命令の復元が行われない。また、C、D の値も再度実行可能な位置に移動しないため、解析位置を移動させるだけでは解析の続行は不可能である。そこで、分岐が読み込まれた際メモリの内容と C、D の値を退避させ、解析途中で終了命令が読み込まれた場合、退避させた値を基に解析を続行させる方法が考えられる。



## 第 5 章

# 実験

### 5.1 実験結果

4 章の方法を基に逆コンパイラを作成し，飯澤の作成した Malbolge プログラムの逆コンパイルを行った．飯澤の高級アセンブリ言語プログラムと実行結果は以下のようになった．

LOOP:

INPUT VAR_X	513	INPUT [504]
MOV VAR_X, VAR_Y	515	MOV [504], [506]
INC VAR_Y	520	INC [506]
BRANCH VAR_Y, EXIT	522	BRANCH [506], 530
OUTPUT VAR_X,	525	OUTPUT [504]
BRANCH ZERO, LOOP	527	BRANCH ZERO, 513
EXIT:	530	STOP
STOP		

左側が飯澤の高級アセンブリ言語プログラム，右側が本研究で作成した逆コンパイラの実出力結果である．出力されたコードではプログラムカウンタの値を左側に，実行する命令を右側に記述している．変数名やラベルはアドレスで表記されているが，元の高級アセンブリ言語プログラムと同等なものを出力できたといえる．

### 5.2 考察

実験結果から飯澤の難読化方法は難読効果が弱いという結論になった．しかし Malbolge は難解な言語であるため，工夫次第ではさらなる難読効果の向上が期待できるのではないかと考えられる．

## 5.2 考察

例えば以下のように Malbolge の実行方法を工夫することで難読効果の向上が期待できると考えられる．

1. 作成された Malbolge の前後にダミーコードを追加する．
2. 本来の Malbolge プログラムの開始位置・終了位置は暗号化などの方法によって管理する．
3. Malbolge プログラムを実行する場合，別の方法で管理していた開始位置と終了位置の情報からメモリにロードする範囲を指定する．

この方法では Malbolge は文字の位置が少しでも変わると実行される命令が大きく異なることを利用している．また，Malbolge の命令は文字によって表されるため少ないデータ量で効果的なダミーコードが追加できるというメリットもある．この方法に対して逆コンパイルを試みた場合，本来の Malbolge プログラムの範囲を特定するためには多大な処理が必要になると考えられる．また，Malbolge の性質上終了位置の検出も必要となるため合計すると膨大な処理数となり，難読効果としては十分な成果が期待できる．

## 第 6 章

### まとめ

本論文では飯澤の提案した難読方法について実際に逆コンパイラを作成することで，その難読効果の検証を行った．逆コンパイルを行った結果，元の高級アセンブリ言語プログラムと同等なものを出力することに成功したため飯澤法は難読効果が弱いという結論となった．しかし，Malbolge の性質を利用した実行方法の工夫により飯澤法を活かした難読化が期待できると考えられる．

# 謝辞

本研究を進めるにあたり，高田喜朗准教授には多くの御指導・御指摘をいただきました．  
この場を借りて厚く御礼申し上げます．

また，副査を引き受けていただいた酒居敬一講師・松崎公紀准教授ならびにお世話になった教員の方々に深く御礼申し上げます．

## 参考文献

- [1] 最凶言語 Malbolge — ローベルの小部屋, <http://d.hatena.ne.jp/Robe/20060824>, 2006.
- [2] 飯澤恒: 難読言語 Malbolge に基づくプログラム難読化に関する研究, 名古屋大学情報科学研究科修士学位論文, 2006.
- [3] 長坂哲, 酒井正彦, 坂部俊樹, 草刈圭一郎, 西田直樹: 難読言語 Malbolge のチューリング完全性について, 信学技報, Vol. 110, No. 277, pp. 55–60, 2010.
- [4] “InfoQ: .NET アプリケーションの不正解析を抑止する難読化”, <http://www.infoq.com/jp/articles/dotfuscator>, 2011.

## 付録 A

# Malbolge のインタプリタ [2]

```
001: #include <stdio.h>
002: #include <stdlib.h>
003: #include <ctype.h>
004: #include <malloc.h>
005: #include <string.h>
006:
007: void exec( unsigned short *mem );
008:
009: unsigned short op( unsigned short x, unsigned short y );
010:
011: const char xlat1[] =
012:     "+b(29e*j1VMEKLyC})8&m#~W>qxdRp0wkrUo[D7,XTcA\"1I"
013:     ".v%{gJh4G\\=-0@5' _3i<?Z';FNQuY]szf$!BS/|t:Pn6^Ha";
014:
015: const char xlat2[] =
016:     "5z]&gqtyfr$(we4{WP)H-Zn,[%\\3dL+Q;>U!pJS72Fh0A1C"
017:     "B6v~I_0/8|jsb9m<.TVac'uY*MK'X~xDl}REokN:#?G\"i@";
018:
019: int main( int argc, char **argv )
020: {
021:     FILE *f;
022:     unsigned short i = 0, j;
023:     int x;
024:     unsigned short *mem;
025:     if ( argc != 2 )
026:     {
027:         fputs( "invalid command line\n", stderr );
028:         return ( 1 );
029:     }
030:     if ( ( f = fopen( argv[1], "r" ) ) == NULL )
031:     {
032:         fputs( "can't open file\n", stderr );
033:         return ( 1 );
034:     }
035:     mem = (unsigned short *)malloc( sizeof(unsigned short) * 59049 );
036:     if ( mem == NULL )
037:     {
038:         fclose( f );
039:         fputs( "can't allocate memory\n", stderr );
040:         return ( 1 );
041:     }
042:     while ( ( x = getc( f ) ) != EOF )
043:     {
044:         if ( isspace( x ) ) continue;
045:         if ( x < 127 && x > 32 )
046:         {
047:             if ( strchr( "ji*p</vo", xlat1[( x - 33 + i ) % 94] ) == NULL )
048:             {
```

```

049:             fputs( "invalid character in source file\n", stderr );
050:             free( mem );
051:             fclose( f );
052:             return ( 1 );
053:         }
054:     }
055:     if ( i == 59049 )
056:     {
057:         fputs( "input file too long\n", stderr );
058:         free( mem );
059:         fclose( f );
060:         return ( 1 );
061:     }
062:     mem[i++] = x;
063: }
064: fclose( f );
065: while ( i < 59049 ) mem[i] = op( mem[i - 1], mem[i - 2] ), i++;
066: exec( mem );
067: free( mem );
068: return ( 0 );
069: }
070:
071: void exec( unsigned short *mem )
072: {
073:     unsigned short a = 0, c = 0, d = 0;
074:     int x;
075:     for (;;)
076:     {
077:         if ( mem[c] < 33 || mem[c] > 126 ) continue;
078:         switch ( xlat1[( mem[c] - 33 + c ) % 94] )
079:         {
080:             case 'j': d = mem[d]; break;
081:             case 'i': c = mem[d]; break;
082:             case '*': a = mem[d] = mem[d] / 3 + mem[d] % 3 * 19683; break;
083:             case 'p': a = mem[d] = op( a, mem[d] ); break;
084:             case '<':
085:                 putc( a, stdout );
086:                 break;
087:             case '/':
088:                 x = getc( stdin );
089:                 if ( x == EOF ) a = 59048; else a = x;
090:                 break;
091:             case 'v': return;
092:         }
093:         mem[c] = xlat2[mem[c] - 33];
094:         if ( c == 59048 ) c = 0; else c++;
095:         if ( d == 59048 ) d = 0; else d++;
096:     }
097: }
098:
099: unsigned short op( unsigned short x, unsigned short y )
100: {
101:     unsigned short i = 0, j;
102:     static const unsigned short p9[5] =
103:         { 1, 9, 81, 729, 6561 };
104:     static const unsigned short o[9][9] =
105:     {
106:         { 4, 3, 3, 1, 0, 0, 1, 0, 0 },
107:         { 4, 3, 5, 1, 0, 2, 1, 0, 2 },
108:         { 5, 5, 4, 2, 2, 1, 2, 2, 1 },
109:         { 4, 3, 3, 1, 0, 0, 7, 6, 6 },
110:         { 4, 3, 5, 1, 0, 2, 7, 6, 8 },

```

```

111:      { 5, 5, 4, 2, 2, 1, 8, 8, 7 },
112:      { 7, 6, 6, 7, 6, 6, 4, 3, 3 },
113:      { 7, 6, 8, 7, 6, 8, 4, 3, 5 },
114:      { 8, 8, 7, 8, 8, 7, 5, 5, 4 },
115:  };
116:  for ( j = 0; j < 5; j++ )
117:      i += o[y / p9[j] % 9][x / p9[j] % 9] * p9[j];
118:  return ( i );
119: }

```



# 逆コンパイル対象の Malbolge プログラム [2]

'BA@?>=<;:9876543210/.-,\*')(&%\$#!Q+=~:(?'Y\$#m!So.Q00=v('98\$65a'-'\_)\[ZYXWVUTSRQ#I2MLKJIHGFEDCBA#@#17\|4  
fy1xv.us+rp(om%lj]"igJfd"cx'uz]rwvYnslkTonPfojKiGJeG[\EC\_X]@[Z<R;VUTS6QP2PNLK-I,GF(D'BAH?>7';:9y16w43s1o)  
p-,l#(i&%e#d!~{'tyxZpuXsrTTongOdkMhg'Hd]ba'\_@Q[ZYXW9UNSRQPOHMLKJ-J++FE'?<\$?>=<;:387xw43s10/(-&m\*)(')&%\$  
fd"!~|zyxwvuwmVqirRqlkjKaFedcE'\_'\_@[ZYX;V9NMRRQ42NLKG.IH?\*F'DCBA#\$?~';{8xx5uu2rr(o,1l)ii&f'e'law'[zr[  
vXnmVTpongPkNihgJ\_dcfA'B']\UZ=RWV8TSLQ4ONOLE.IHA)E>'BA:?!7^5|38y6/v321q).-&m\*)i'&%|f'd!~'}\_{zs}wvutsUqTonPl  
OjiKgJedFbE'\_A][Z<X;VUTS6QP22GL/JIB+FEDC%;@?>7';:987w5v32r0)p-,+k)(?'g\$#"b"w|uz]xwvutsrqTinQl0jLhgfeH]bE  
'CB]'>ZXSWVUTSRQPONILE.I,+((&%\$%)!"~||zzxxw4u210/(-n+1)ji'egleccaa\_zy[qZoXVVTPonPfOdiLIJJ\_HFBa'BXAV?==;9  
977pQNOMMLKJIHGFEDCBA@?>=<;:9876543210/.-,\*')(&%\$#!Q+=~:'|zyxwvuvsrqponmlkjihgfedcb'['\_]\[ZYXWVUTSRQPOHMLK  
JIHGFEDCBA@?>=<;:9876543210/.-JI\*)FE&%\$%!'~}|{zyxwvutsrqponmlkjihgJ'dcfI'['\_]\[ZYXWVUTSRQPO2KLKIHGf)bCBA@  
?>=<;:9876543210/.-JI\*)FE3%\$#!'~}|{zyxwvutsrqponmlkjihgJ'dcfI'['\_B\_]@[-wXWVUTSRQPO2KLKIHGf)bCBA@?>=<;:98765  
43210/.-JI\*)FE&%\$%!'~}|{zyxwvutsrqponmlkjihgJ'dcfI'['\_B\_]@[ZYX;VUTS6Q40200EJIH\*Q?>%'A@?>7^5|zxx65u3,s\*qoommk  
(h&f{j'dbb{'^xwYutWvkToRmlkJ\_MlgfHdcF[DBB@?]~=RWV8TM6K422OLK-IB+@E(&E;"'"~|zzxxw4u21r/.o,mkl'i&g\$%!'b}  
{'~\qvYWwlUSSQQOkjikaJ\_HFFD'\_A]V?T=;997SRQ3I2GO.JIH\*@)>'\_%A">=}4{8y6vw3ttr).omm\$j)'&g\$#d!ba'u'ywZYtWr  
qTonmOOdiKh'IHg'a'\_AW@?>XWV8N7LQ422GO.JI+G@?>C&%\$9'~'|z87w5.u.sqqoommkk'i'h%\$e'y'b'~}|wvXtmVkpSQqfOMihg  
I\_H]FD'\_A]V?T=;99775QP01GOE.).HG)E>'<A\$?>7^|z8y654u,sfpq,(m\*)ii;&f"\$e"cb'~'|z[putVrkTiRPpNJMKK'eFYb[DYB@?  
?=RVUV7M6K42200...,'F)DCB@?>@?>;|zz165u32s\*qoommkk'i'&f\$dy'\_a\_t\_|[YutVrkTinQ00MKKIIGGEAd'\_A?ZYB;USRS5  
33NMLEJ-,G\*((=B%##8=<|:3z1xvvtt0/o-&m\$j)hh'fd"!~'v\_t|[wvXtmVkpSQqfOMMKKIIGGEAd'\_A?ZYXQV9T7R5P011LKJIB+F  
D)%%:#!};:z81xvvttrppnnlljjhhf\$e"!~'a|{zyr[vYXmrqpRnfKfjikaJ\_HFFDDBB@?>>><.:88664P3NMLE.I,+@)'CBA#9"7<}  
{2ywwuussqoommkiig'f#"'xa'f'yx[YnVsUpSQqfOMMKkfhd]F['CAAV?=:YX:VO8M6442200...,\*\*D'BA\$?>7<}:z16w43ss0  
p-n+\*j('h)fddfb'\_a\_tyxZvoXmVtpQmoQMOKMIIGEECCAA?[:YXW:UN76Q4ON1/)JIBG\*DC'A@#8!}]{'yyw5vtt+0/o-&m\$kiigg  
eeccaa'\~\qvYtsVqTongl0jMLafIdcEE'\_'\_W@[>=:W:88MRQ3OH1F/-IH\*F?(=\$@?>~6}{4{yywu32r0)p',mkk'iggeecca'{'zy|  
wvunWrUpSnm00jihg'eHcFaDBBW@?><:V977LR2PTNGOE.,\*\*'(DC%A:#8!)}{'yywuu3t10/p-,+\*(ih,fddybw|zr[rpuXVVKTRRP  
PNNLHgiE'G'ECCAA??=:;9U8SR5PI21L/JI,\*\*?('&9'~'|:yy054t2+r)pnnl'kii'&i'\$d'ybw'^^xwYunWlqrTRGPNNLLJHDGb  
ad\_BW@?>=:PU8SR44OHMKO.-+G\*('(=BA#?8!6|-98x6/v-trrrppnnlljjhhffdc'~'|z\_xs[yVtwrQSSnmfQjMhgIedG'A'B'W@?><  
:8TS5QJ3H1//--I,\*\*?DC%A:#8!)}{'yywuu3t10/p-,%l)ji'%\$#c|bw|\_zyx[vutmRUpSnQlKMmhgf'eGbEDYBW[=YR;P9775QP2NGO  
J-J--+@)'CB\$@9"7<|{2ywwuussqoommk}'&%\$#!'w'f'ywvutsUjJonfqf0jMaJ\_HFFDDB']?[T-RW:88M64P01MF/DI,\*\*'(&BA  
#?8!6|{'yywuujsr/-&mlj)'&geez|ba|\_]|rwxXXmrqSohqfKNLLAJHHFFDDBB@?>>><.:886R5P02MOEJ-,\*GED'%'@9!'5|3zxx  
v4uss\*/-.n,%|jh&geeZ!'|u's'ZZXXVVTTTRPPNJMKK'eHcbE'C'W@?>Z=XW:88SRKP32MO..CHG)E?<'&?>~5|38y7w.u.ssq/.n,  
1#(iggleccaa\_)]{[YYWsVqpSnQlkdiLgJeHcbDD'\_V]?Z=X;99NS644I2GL/--BG\*EDC&A@?8!}'49z76wuu210/(-nm\*)i'&glecca  
a\_z{xzZoXVVTVTRPPNNLLJIfdcFdA'\_U]Z=X;08MRQP2HI1F/-IH\*F?(=B%##8!)}{'yywwuussqoommk}'&%\$#!'w'f'ywvutsUjJonfqf0jMaJ\_HFFDDB']?  
J-HHFBa'\_B][TY<W:US8R44ONGOK.IH\*FE=(=\$@#!6;:z81x/vttrppnnlljjhhffdc'~'|\_zyr[ZYnsVqpSQQlk]chJKJedFbADYA  
??TYX:VO8M6442200..., \*FE'C%>:#!}}{'y7x54u2s0/'\_,m\*k(i&%ee"i'~v\_z|x[YnWUqpRngPeNLHgiE'G'adBBW@>ZY;WP9N75  
53ONOLE.C,\*\*((&%\$%)>1<;:8765.u2sr)-,1\*m\*'&e'f\$dy'\_a\_t\_|[wvuwmVkTrPPNNLLJHHFFDDB[A\_[ZS;V9TS644IN1OK...A  
F)?'<A@?>7^5|pyOuwsussqoommkiigeecl'ba|\_]|zwZytWrqTrRmfOMMbK'eDfB[DYB@>Z;PU866K42NM/KD-BG\*('(=\$\$%)~'  
|zzxxvvvt2s0/p-n+\*k(i&geezcz)'{zy[wvotWqTonQ00jihaIdGEEZ'\_@]>SX;99NS6QP3N1LKJC,G\*EDC%A\$9'~'|zzxxvvvttr  
0/.n&m\$j)hh'fd"!~'v\_t\_y\_ZZoXVrqpRhQfOmILgfeHcbA'Y'A@?T=R;PU8SR5P121OEJIH\*Q?>C&%\$9'~'|zzxxvvvttrppnnl\*k('h  
|led!~'|\_s\_qXztWUUjJonPleNckIJHHFPbaC\_XAV[><<Q:8TS5QJ3H1//---+))'C&A@#>?>}:z16w43ss0).o.ml#(iggl'!'aw'u'<|  
ZZXtsrtJshQkXtjikaJ\_HFBa'BXAV?==;99775Q4ONMOKDI,G\*&(E;\$9!}>|4987w/v-trrrpp,+k)'i%fddy'~'|zr[wvYnWUUSQ  
Q00MiLgfeHcb[D\_B][=Y<Q:8866442NML.D-B+)}'CB\$@9"7<|{2ywwuussq/p-,+l)('f#dcx|{'z{wvutwmVqTonPlEnChKII'G  
EEC.B@QOZH;WP9N75QP01GOE.,\*\*'(DCB%#8=~|3zxxvvvttr0q.-,m\*)(?'g\$edybw'zyxZpYnWUpQqPeNLLJjHdcEaZCXa?==;  
9975SR6QP01L/J-HG)C&A\$?>~1;|3zx6wuu,10p.'n%ljjh&geez!'|u's'ZZXXVVTTTRPPNJMKK'eHcbADYA'>SX;VU77RK4021  
//--I,\*\*?DC%A:#8!}|{9zxx/43s1q(ommk)(h&f{j'caav\_]]{[YYWsVqpRmfOMNBK'eHcbE'G'V]=XW9UNYL53311//--XJ,Ha\*?>D%  
%:#!}}{'yywwuussr/(o,m\*)'h'fez!~'|\_sxwvXnWlqrTRGPnjihJ'I'cFDDYB@?>>>XWV8N7L53311//---+))E(CBA\$?>=6|{27  
x54uss0/-&t+k('g'lez!b'~'u'ZZXtsrtJshQkXtjikaJ\_HFFDDBB@?>>>X;VU8S6QPONG/L.I,GF)DCB\$9>~5|z1z4/uss\*/-.n,  
1%|jhffhd'fdd'~'|tJrwxXmVtpQmfOmdMKKIIGEEC'\_Z]>ZS;V9TS644I21OE.C,\*F)'<A@?>7^5|z87w5.u,1rrp'nllj(iggl'#"b  
~'u'\\ZvuwdsUjoRpPENLLJHHFBa'\_B]@?Y<W:UT66QJ2SMQ?>20k.,AF'?<'&?>~5:9y7Aw.u.ssq/-&ml#(iggleccaa\_)]{[YYW  
sVqpoRmfNiLgJedFFa'YB][Z<XW:OTS5QJ3HMO..C,\*\*(D'%:>?>~5|3zxxvvvt21q/(o&mkkkiigeecl'ba|{'yxqZuXsVqpRRmlkdi  
LgJedFbADYB@?>ZY;WP9NS644I200...H+)>CB\$@9"7~'|zzxxvvvt2s0/.o,+(ih,fddy'~'|zr[wvXtmVkpSQqfOMMKkfgeG]F[DBB  
@?>>><.:88664P3NMOK.IHGf'(C&A\$?>=<;{26w.u2s0/o-m,m\*j)hh'f\$#c|xav\_]|[YYWWUqTRRGlmibK'IGGEECCAA?[:YXWP9T7  
R5P011FK.I.+@E(&E:@?1=6149xx/vttr0/.n&m\$kiigeececcaa\_]]|wZutsVksROfKilhaJ\_dGEEZCA?[:Z<XQ:0866442200...

– 27 –

VkTinQ00diLgfId\FEDY^>T=RW:88M6442200...,\*\*((&\$&\$>!<;|92y6w4uss\*q(-n+\*)j!h%fez!b)|~yrwZuXsVTTInm0kdMb  
KIIGcPDDY^]?[T=R;9UT6RK4I200...,\*\*((&\$&\$>=<):38yxw.u,sqqoom+1jj!&#e#zcxa\_{zy[qZoXVVTTRPPNNLhKfEhCfA`YBA  
^ZY<:UTSLQ43N1//DI,\*\*\*((&\$&\$>~<;{92y0wuus10p.`n%\*kii~geeccaa\_{yx[vYtsrkpSnQ10jIKKfedc`E`C`]?[Z=RWV8TM6  
KP311F/---+))`'%###!!}}{y7x543t10/.`n+1)j`&#&\$ccx|\_t|x[vYWWlUSonPleNcLJHdcEaZCX]>@>S<:VU7SL5J0200E.,\*,  
\*((&\$&\$>!<;3zy6w43trr).on+1jj!&geez!~`|u~sx[YYNWUUSSQO0MMKKIIGGEEC\_B]\?Z=RW:9T755JONM/E.C,\*\*(DCB#:#8!}  
;:z81x/vttr0/o-&m\$)jhh!fddbb`~`x[vuXsVqjSRmPNNChKfEhFFa`Y`A@?TYX:V08MR533H1/KJ,HA\*?D`%`:#!!}}{yywuuss  
qqo-nll#(i&%#d!~w|\_z]\qZXtWUJjonm0eNcLJfedF\EZCAA?=?YX:V08M6442200...H+FED`BA@9`!<:9zxx5432+0qp-nll#jh&  
%e#zcx`~`s\ZZXtsrTjShQ0kjiKaJ\_HFba`BXAV?==;99775Q40N1L/JIHG@E(`BA@`>!6){987w/v-trrrppn,mkk`&f\$dyb`~`~`  
ZZXVrUpoRmfOnihJfEh]bECCX]>ZS<Q:886R533HML.JC,A\*((&\$&\$>~<|zzx6wu,1r/.o,m\$kj`h%\$ecc`w|\_y\ZZotsUqjSh  
mPNNcLJHHFFDDBB@`[YR;PU866K42200...H+FE(C&A`?`~`~`498x65v-t+trppnllj`(&f|ezca)|\_s\qvYWWlUSSQO0MMKgJedc  
Fa`YB]>?TY<VW88SRQJ02M0/---+GFE`=&#&\$>~<|zzxxvvttr0q.-,m\*)(!&gf#d!~a\_zyxwYXsVTTiRPkMibK`eHFF[DB`]?[T=R;  
9977553311/---+G\*ED`B`@?>=6}|9z76w432rr).-n%lk(igg|ec!~`|u~s\ZZXtsUqjShQ00MMKgfeG]F`CAAV?==;997S6QP3NG  
OK.I,GF((=B`@#>=);:2ywwuus10p.`n%\*kii~geeccaa\_]][[YuXsrqTinQPkjLhgJ\_H]FDDB`]>T=R;9977553311/---+G\*ED`B  
%09`!~5:yy0w.3t10q.o,+\$)j`h/f#`bb)|\_t|x[vYWWlqTRRgLOMMbgfHd]F[DBB@>><<:886644220L/JIH+FED=&%\$9>!<;|z7  
654-2sr/pnn/\*i`&g|`#`~`w`u`~`ZZXVVTTRPPNNLJfIdEaD`\_]\UZ=<:P9N75QP01GOE.,HGF(>`<A\$`?`~`|z876v.u,1rpp  
nlljhhffddbb`a|`yr[ZYnsrTpoRgPNjMKK`edFb[DYB@>Z=;PUT6RK4I200...,\*\*((&\$&\$@#!6;|98y6w.u2s0q.-mm\*(i&g\$ecc  
x)|~zy\qvYWWlqTonmPkdILgJeHcbDD`\_W@>YX:VU8MRQ30H1FK.,A\*((&\$&\$@?!6)49zxx/vttrppnlljhh&g\$#`c`\_v~\_rjwZut  
WUUpongLOMMKKIIGcbD`YB@>ZY;WP9N75QP2NGOEJ-++@)`CB\$@9`7`<{2ywwuussq/p,-m\*k(`&#e`cbw`u`s\ZZXVVTTRPPNji  
hJ`I`CFDDYB@`[Z<R;PU866K42NML.D-B+)E(CBA\$?>=<5|8y65v321q(-,m\$ki`g|`dbbw|\_t|yr[pYWWUUSonPleNcLJfEgC`EZ\_B  
@>U><<:8866442N1LK.IB+\*E(CB`#8=<)|3876v.u,sq/.n,%1#jh&#e#zcx`~`s\ZvutV1UjSQQ0kjlhaJ\_HFFDDBB@>Z=XW:U8M  
R543HMO..CHG)E>`<`%##!!};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#dzcxa\_{z\qZotWUJsqQO0MMKgJedGbe`YBA?ZY<:UTMR543H1F/---+  
G\*((=BA#?8!6){9zxx/43s1\*q(ommkkiigeecca)`~`sx[vuXsVqpinQ1ONchgIedG`EZ\_B]\>YXWP9T7R5P01LKLJIBG`E`(<`%`:#!!  
};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#zcxa\_]][[YUWwQTRRgLOjIKKfedc`aD`\_]\UZ=<:P9N75QP01GOE.,HGF(>`<A\$`?`~`|z876v.u,1rpp  
nlljhhffddbb`a|`yr[ZYnsrTpoRgPNjMKK`edFb[DYB@>Z=;PUT6RK4I200...,\*\*((&\$&\$@#!6;|98y6w.u2s0q.-mm\*(i&g\$ecc  
x)|~zy\qvYWWlqTonmPkdILgJeHcbDD`\_W@>YX:VU8MRQ30H1FK.,A\*((&\$&\$@?!6)49zxx/vttrppnlljhh&g\$#`c`\_v~\_rjwZut  
WUUpongLOMMKKIIGcbD`YB@>ZY;WP9N75QP2NGOEJ-++@)`CB\$@9`7`<{2ywwuussq/p,-m\*k(`&#e`cbw`u`s\ZZXVVTTRPPNji  
hJ`I`CFDDYB@`[Z<R;PU866K42NML.D-B+)E(CBA\$?>=<5|8y65v321q(-,m\$ki`g|`dbbw|\_t|yr[pYWWUUSonPleNcLJfEgC`EZ\_B  
@>U><<:8866442N1LK.IB+\*E(CB`#8=<)|3876v.u,sq/.n,%1#jh&#e#zcx`~`s\ZvutV1UjSQQ0kjlhaJ\_HFFDDBB@>Z=XW:U8M  
R543HMO..CHG)E>`<`%##!!};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#dzcxa\_{z\qZotWUJsqQO0MMKgJedGbe`YBA?ZY<:UTMR543H1F/---+  
G\*((=BA#?8!6){9zxx/43s1\*q(ommkkiigeecca)`~`sx[vuXsVqpinQ1ONchgIedG`EZ\_B]\>YXWP9T7R5P01LKLJIBG`E`(<`%`:#!!  
};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#zcxa\_]][[YUWwQTRRgLOjIKKfedc`aD`\_]\UZ=<:P9N75QP01GOE.,HGF(>`<A\$`?`~`|z876v.u,1rpp  
nlljhhffddbb`a|`yr[ZYnsrTpoRgPNjMKK`edFb[DYB@>Z=;PUT6RK4I200...,\*\*((&\$&\$@#!6;|98y6w.u2s0q.-mm\*(i&g\$ecc  
x)|~zy\qvYWWlqTonmPkdILgJeHcbDD`\_W@>YX:VU8MRQ30H1FK.,A\*((&\$&\$@?!6)49zxx/vttrppnlljhh&g\$#`c`\_v~\_rjwZut  
WUUpongLOMMKKIIGcbD`YB@>ZY;WP9N75QP2NGOEJ-++@)`CB\$@9`7`<{2ywwuussq/p,-m\*k(`&#e`cbw`u`s\ZZXVVTTRPPNji  
hJ`I`CFDDYB@`[Z<R;PU866K42NML.D-B+)E(CBA\$?>=<5|8y65v321q(-,m\$ki`g|`dbbw|\_t|yr[pYWWUUSonPleNcLJfEgC`EZ\_B  
@>U><<:8866442N1LK.IB+\*E(CB`#8=<)|3876v.u,sq/.n,%1#jh&#e#zcx`~`s\ZvutV1UjSQQ0kjlhaJ\_HFFDDBB@>Z=XW:U8M  
R543HMO..CHG)E>`<`%##!!};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#dzcxa\_{z\qZotWUJsqQO0MMKgJedGbe`YBA?ZY<:UTMR543H1F/---+  
G\*((=BA#?8!6){9zxx/43s1\*q(ommkkiigeecca)`~`sx[vuXsVqpinQ1ONchgIedG`EZ\_B]\>YXWP9T7R5P01LKLJIBG`E`(<`%`:#!!  
};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#zcxa\_]][[YUWwQTRRgLOjIKKfedc`aD`\_]\UZ=<:P9N75QP01GOE.,HGF(>`<A\$`?`~`|z876v.u,1rpp  
nlljhhffddbb`a|`yr[ZYnsrTpoRgPNjMKK`edFb[DYB@>Z=;PUT6RK4I200...,\*\*((&\$&\$@#!6;|98y6w.u2s0q.-mm\*(i&g\$ecc  
x)|~zy\qvYWWlqTonmPkdILgJeHcbDD`\_W@>YX:VU8MRQ30H1FK.,A\*((&\$&\$@?!6)49zxx/vttrppnlljhh&g\$#`c`\_v~\_rjwZut  
WUUpongLOMMKKIIGcbD`YB@>ZY;WP9N75QP2NGOEJ-++@)`CB\$@9`7`<{2ywwuussq/p,-m\*k(`&#e`cbw`u`s\ZZXVVTTRPPNji  
hJ`I`CFDDYB@`[Z<R;PU866K42NML.D-B+)E(CBA\$?>=<5|8y65v321q(-,m\$ki`g|`dbbw|\_t|yr[pYWWUUSonPleNcLJfEgC`EZ\_B  
@>U><<:8866442N1LK.IB+\*E(CB`#8=<)|3876v.u,sq/.n,%1#jh&#e#zcx`~`s\ZvutV1UjSQQ0kjlhaJ\_HFFDDBB@>Z=XW:U8M  
R543HMO..CHG)E>`<`%##!!};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#dzcxa\_{z\qZotWUJsqQO0MMKgJedGbe`YBA?ZY<:UTMR543H1F/---+  
G\*((=BA#?8!6){9zxx/43s1\*q(ommkkiigeecca)`~`sx[vuXsVqpinQ1ONchgIedG`EZ\_B]\>YXWP9T7R5P01LKLJIBG`E`(<`%`:#!!  
};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#zcxa\_]][[YUWwQTRRgLOjIKKfedc`aD`\_]\UZ=<:P9N75QP01GOE.,HGF(>`<A\$`?`~`|z876v.u,1rpp  
nlljhhffddbb`a|`yr[ZYnsrTpoRgPNjMKK`edFb[DYB@>Z=;PUT6RK4I200...,\*\*((&\$&\$@#!6;|98y6w.u2s0q.-mm\*(i&g\$ecc  
x)|~zy\qvYWWlqTonmPkdILgJeHcbDD`\_W@>YX:VU8MRQ30H1FK.,A\*((&\$&\$@?!6)49zxx/vttrppnlljhh&g\$#`c`\_v~\_rjwZut  
WUUpongLOMMKKIIGcbD`YB@>ZY;WP9N75QP2NGOEJ-++@)`CB\$@9`7`<{2ywwuussq/p,-m\*k(`&#e`cbw`u`s\ZZXVVTTRPPNji  
hJ`I`CFDDYB@`[Z<R;PU866K42NML.D-B+)E(CBA\$?>=<5|8y65v321q(-,m\$ki`g|`dbbw|\_t|yr[pYWWUUSonPleNcLJfEgC`EZ\_B  
@>U><<:8866442N1LK.IB+\*E(CB`#8=<)|3876v.u,sq/.n,%1#jh&#e#zcx`~`s\ZvutV1UjSQQ0kjlhaJ\_HFFDDBB@>Z=XW:U8M  
R543HMO..CHG)E>`<`%##!!};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#dzcxa\_{z\qZotWUJsqQO0MMKgJedGbe`YBA?ZY<:UTMR543H1F/---+  
G\*((=BA#?8!6){9zxx/43s1\*q(ommkkiigeecca)`~`sx[vuXsVqpinQ1ONchgIedG`EZ\_B]\>YXWP9T7R5P01LKLJIBG`E`(<`%`:#!!  
};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#zcxa\_]][[YUWwQTRRgLOjIKKfedc`aD`\_]\UZ=<:P9N75QP01GOE.,HGF(>`<A\$`?`~`|z876v.u,1rpp  
nlljhhffddbb`a|`yr[ZYnsrTpoRgPNjMKK`edFb[DYB@>Z=;PUT6RK4I200...,\*\*((&\$&\$@#!6;|98y6w.u2s0q.-mm\*(i&g\$ecc  
x)|~zy\qvYWWlqTonmPkdILgJeHcbDD`\_W@>YX:VU8MRQ30H1FK.,A\*((&\$&\$@?!6)49zxx/vttrppnlljhh&g\$#`c`\_v~\_rjwZut  
WUUpongLOMMKKIIGcbD`YB@>ZY;WP9N75QP2NGOEJ-++@)`CB\$@9`7`<{2ywwuussq/p,-m\*k(`&#e`cbw`u`s\ZZXVVTTRPPNji  
hJ`I`CFDDYB@`[Z<R;PU866K42NML.D-B+)E(CBA\$?>=<5|8y65v321q(-,m\$ki`g|`dbbw|\_t|yr[pYWWUUSonPleNcLJfEgC`EZ\_B  
@>U><<:8866442N1LK.IB+\*E(CB`#8=<)|3876v.u,sq/.n,%1#jh&#e#zcx`~`s\ZvutV1UjSQQ0kjlhaJ\_HFFDDBB@>Z=XW:U8M  
R543HMO..CHG)E>`<`%##!!};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#dzcxa\_{z\qZotWUJsqQO0MMKgJedGbe`YBA?ZY<:UTMR543H1F/---+  
G\*((=BA#?8!6){9zxx/43s1\*q(ommkkiigeecca)`~`sx[vuXsVqpinQ1ONchgIedG`EZ\_B]\>YXWP9T7R5P01LKLJIBG`E`(<`%`:#!!  
};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#zcxa\_]][[YUWwQTRRgLOjIKKfedc`aD`\_]\UZ=<:P9N75QP01GOE.,HGF(>`<A\$`?`~`|z876v.u,1rpp  
nlljhhffddbb`a|`yr[ZYnsrTpoRgPNjMKK`edFb[DYB@>Z=;PUT6RK4I200...,\*\*((&\$&\$@#!6;|98y6w.u2s0q.-mm\*(i&g\$ecc  
x)|~zy\qvYWWlqTonmPkdILgJeHcbDD`\_W@>YX:VU8MRQ30H1FK.,A\*((&\$&\$@?!6)49zxx/vttrppnlljhh&g\$#`c`\_v~\_rjwZut  
WUUpongLOMMKKIIGcbD`YB@>ZY;WP9N75QP2NGOEJ-++@)`CB\$@9`7`<{2ywwuussq/p,-m\*k(`&#e`cbw`u`s\ZZXVVTTRPPNji  
hJ`I`CFDDYB@`[Z<R;PU866K42NML.D-B+)E(CBA\$?>=<5|8y65v321q(-,m\$ki`g|`dbbw|\_t|yr[pYWWUUSonPleNcLJfEgC`EZ\_B  
@>U><<:8866442N1LK.IB+\*E(CB`#8=<)|3876v.u,sq/.n,%1#jh&#e#zcx`~`s\ZvutV1UjSQQ0kjlhaJ\_HFFDDBB@>Z=XW:U8M  
R543HMO..CHG)E>`<`%##!!};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#dzcxa\_{z\qZotWUJsqQO0MMKgJedGbe`YBA?ZY<:UTMR543H1F/---+  
G\*((=BA#?8!6){9zxx/43s1\*q(ommkkiigeecca)`~`sx[vuXsVqpinQ1ONchgIedG`EZ\_B]\>YXWP9T7R5P01LKLJIBG`E`(<`%`:#!!  
};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#zcxa\_]][[YUWwQTRRgLOjIKKfedc`aD`\_]\UZ=<:P9N75QP01GOE.,HGF(>`<A\$`?`~`|z876v.u,1rpp  
nlljhhffddbb`a|`yr[ZYnsrTpoRgPNjMKK`edFb[DYB@>Z=;PUT6RK4I200...,\*\*((&\$&\$@#!6;|98y6w.u2s0q.-mm\*(i&g\$ecc  
x)|~zy\qvYWWlqTonmPkdILgJeHcbDD`\_W@>YX:VU8MRQ30H1FK.,A\*((&\$&\$@?!6)49zxx/vttrppnlljhh&g\$#`c`\_v~\_rjwZut  
WUUpongLOMMKKIIGcbD`YB@>ZY;WP9N75QP2NGOEJ-++@)`CB\$@9`7`<{2ywwuussq/p,-m\*k(`&#e`cbw`u`s\ZZXVVTTRPPNji  
hJ`I`CFDDYB@`[Z<R;PU866K42NML.D-B+)E(CBA\$?>=<5|8y65v321q(-,m\$ki`g|`dbbw|\_t|yr[pYWWUUSonPleNcLJfEgC`EZ\_B  
@>U><<:8866442N1LK.IB+\*E(CB`#8=<)|3876v.u,sq/.n,%1#jh&#e#zcx`~`s\ZvutV1UjSQQ0kjlhaJ\_HFFDDBB@>Z=XW:U8M  
R543HMO..CHG)E>`<`%##!!};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#dzcxa\_{z\qZotWUJsqQO0MMKgJedGbe`YBA?ZY<:UTMR543H1F/---+  
G\*((=BA#?8!6){9zxx/43s1\*q(ommkkiigeecca)`~`sx[vuXsVqpinQ1ONchgIedG`EZ\_B]\>YXWP9T7R5P01LKLJIBG`E`(<`%`:#!!  
};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#zcxa\_]][[YUWwQTRRgLOjIKKfedc`aD`\_]\UZ=<:P9N75QP01GOE.,HGF(>`<A\$`?`~`|z876v.u,1rpp  
nlljhhffddbb`a|`yr[ZYnsrTpoRgPNjMKK`edFb[DYB@>Z=;PUT6RK4I200...,\*\*((&\$&\$@#!6;|98y6w.u2s0q.-mm\*(i&g\$ecc  
x)|~zy\qvYWWlqTonmPkdILgJeHcbDD`\_W@>YX:VU8MRQ30H1FK.,A\*((&\$&\$@?!6)49zxx/vttrppnlljhh&g\$#`c`\_v~\_rjwZut  
WUUpongLOMMKKIIGcbD`YB@>ZY;WP9N75QP2NGOEJ-++@)`CB\$@9`7`<{2ywwuussq/p,-m\*k(`&#e`cbw`u`s\ZZXVVTTRPPNji  
hJ`I`CFDDYB@`[Z<R;PU866K42NML.D-B+)E(CBA\$?>=<5|8y65v321q(-,m\$ki`g|`dbbw|\_t|yr[pYWWUUSonPleNcLJfEgC`EZ\_B  
@>U><<:8866442N1LK.IB+\*E(CB`#8=<)|3876v.u,sq/.n,%1#jh&#e#zcx`~`s\ZvutV1UjSQQ0kjlhaJ\_HFFDDBB@>Z=XW:U8M  
R543HMO..CHG)E>`<`%##!!};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#dzcxa\_{z\qZotWUJsqQO0MMKgJedGbe`YBA?ZY<:UTMR543H1F/---+  
G\*((=BA#?8!6){9zxx/43s1\*q(ommkkiigeecca)`~`sx[vuXsVqpinQ1ONchgIedG`EZ\_B]\>YXWP9T7R5P01LKLJIBG`E`(<`%`:#!!  
};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#zcxa\_]][[YUWwQTRRgLOjIKKfedc`aD`\_]\UZ=<:P9N75QP01GOE.,HGF(>`<A\$`?`~`|z876v.u,1rpp  
nlljhhffddbb`a|`yr[ZYnsrTpoRgPNjMKK`edFb[DYB@>Z=;PUT6RK4I200...,\*\*((&\$&\$@#!6;|98y6w.u2s0q.-mm\*(i&g\$ecc  
x)|~zy\qvYWWlqTonmPkdILgJeHcbDD`\_W@>YX:VU8MRQ30H1FK.,A\*((&\$&\$@?!6)49zxx/vttrppnlljhh&g\$#`c`\_v~\_rjwZut  
WUUpongLOMMKKIIGcbD`YB@>ZY;WP9N75QP2NGOEJ-++@)`CB\$@9`7`<{2ywwuussq/p,-m\*k(`&#e`cbw`u`s\ZZXVVTTRPPNji  
hJ`I`CFDDYB@`[Z<R;PU866K42NML.D-B+)E(CBA\$?>=<5|8y65v321q(-,m\$ki`g|`dbbw|\_t|yr[pYWWUUSonPleNcLJfEgC`EZ\_B  
@>U><<:8866442N1LK.IB+\*E(CB`#8=<)|3876v.u,sq/.n,%1#jh&#e#zcx`~`s\ZvutV1UjSQQ0kjlhaJ\_HFFDDBB@>Z=XW:U8M  
R543HMO..CHG)E>`<`%##!!};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#dzcxa\_{z\qZotWUJsqQO0MMKgJedGbe`YBA?ZY<:UTMR543H1F/---+  
G\*((=BA#?8!6){9zxx/43s1\*q(ommkkiigeecca)`~`sx[vuXsVqpinQ1ONchgIedG`EZ\_B]\>YXWP9T7R5P01LKLJIBG`E`(<`%`:#!!  
};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#zcxa\_]][[YUWwQTRRgLOjIKKfedc`aD`\_]\UZ=<:P9N75QP01GOE.,HGF(>`<A\$`?`~`|z876v.u,1rpp  
nlljhhffddbb`a|`yr[ZYnsrTpoRgPNjMKK`edFb[DYB@>Z=;PUT6RK4I200...,\*\*((&\$&\$@#!6;|98y6w.u2s0q.-mm\*(i&g\$ecc  
x)|~zy\qvYWWlqTonmPkdILgJeHcbDD`\_W@>YX:VU8MRQ30H1FK.,A\*((&\$&\$@?!6)49zxx/vttrppnlljhh&g\$#`c`\_v~\_rjwZut  
WUUpongLOMMKKIIGcbD`YB@>ZY;WP9N75QP2NGOEJ-++@)`CB\$@9`7`<{2ywwuussq/p,-m\*k(`&#e`cbw`u`s\ZZXVVTTRPPNji  
hJ`I`CFDDYB@`[Z<R;PU866K42NML.D-B+)E(CBA\$?>=<5|8y65v321q(-,m\$ki`g|`dbbw|\_t|yr[pYWWUUSonPleNcLJfEgC`EZ\_B  
@>U><<:8866442N1LK.IB+\*E(CB`#8=<)|3876v.u,sq/.n,%1#jh&#e#zcx`~`s\ZvutV1UjSQQ0kjlhaJ\_HFFDDBB@>Z=XW:U8M  
R543HMO..CHG)E>`<`%##!!};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#dzcxa\_{z\qZotWUJsqQO0MMKgJedGbe`YBA?ZY<:UTMR543H1F/---+  
G\*((=BA#?8!6){9zxx/43s1\*q(ommkkiigeecca)`~`sx[vuXsVqpinQ1ONchgIedG`EZ\_B]\>YXWP9T7R5P01LKLJIBG`E`(<`%`:#!!  
};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#zcxa\_]][[YUWwQTRRgLOjIKKfedc`aD`\_]\UZ=<:P9N75QP01GOE.,HGF(>`<A\$`?`~`|z876v.u,1rpp  
nlljhhffddbb`a|`yr[ZYnsrTpoRgPNjMKK`edFb[DYB@>Z=;PUT6RK4I200...,\*\*((&\$&\$@#!6;|98y6w.u2s0q.-mm\*(i&g\$ecc  
x)|~zy\qvYWWlqTonmPkdILgJeHcbDD`\_W@>YX:VU8MRQ30H1FK.,A\*((&\$&\$@?!6)49zxx/vttrppnlljhh&g\$#`c`\_v~\_rjwZut  
WUUpongLOMMKKIIGcbD`YB@>ZY;WP9N75QP2NGOEJ-++@)`CB\$@9`7`<{2ywwuussq/p,-m\*k(`&#e`cbw`u`s\ZZXVVTTRPPNji  
hJ`I`CFDDYB@`[Z<R;PU866K42NML.D-B+)E(CBA\$?>=<5|8y65v321q(-,m\$ki`g|`dbbw|\_t|yr[pYWWUUSonPleNcLJfEgC`EZ\_B  
@>U><<:8866442N1LK.IB+\*E(CB`#8=<)|3876v.u,sq/.n,%1#jh&#e#zcx`~`s\ZvutV1UjSQQ0kjlhaJ\_HFFDDBB@>Z=XW:U8M  
R543HMO..CHG)E>`<`%##!!};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#dzcxa\_{z\qZotWUJsqQO0MMKgJedGbe`YBA?ZY<:UTMR543H1F/---+  
G\*((=BA#?8!6){9zxx/43s1\*q(ommkkiigeecca)`~`sx[vuXsVqpinQ1ONchgIedG`EZ\_B]\>YXWP9T7R5P01LKLJIBG`E`(<`%`:#!!  
};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#zcxa\_]][[YUWwQTRRgLOjIKKfedc`aD`\_]\UZ=<:P9N75QP01GOE.,HGF(>`<A\$`?`~`|z876v.u,1rpp  
nlljhhffddbb`a|`yr[ZYnsrTpoRgPNjMKK`edFb[DYB@>Z=;PUT6RK4I200...,\*\*((&\$&\$@#!6;|98y6w.u2s0q.-mm\*(i&g\$ecc  
x)|~zy\qvYWWlqTonmPkdILgJeHcbDD`\_W@>YX:VU8MRQ30H1FK.,A\*((&\$&\$@?!6)49zxx/vttrppnlljhh&g\$#`c`\_v~\_rjwZut  
WUUpongLOMMKKIIGcbD`YB@>ZY;WP9N75QP2NGOEJ-++@)`CB\$@9`7`<{2ywwuussq/p,-m\*k(`&#e`cbw`u`s\ZZXVVTTRPPNji  
hJ`I`CFDDYB@`[Z<R;PU866K42NML.D-B+)E(CBA\$?>=<5|8y65v321q(-,m\$ki`g|`dbbw|\_t|yr[pYWWUUSonPleNcLJfEgC`EZ\_B  
@>U><<:8866442N1LK.IB+\*E(CB`#8=<)|3876v.u,sq/.n,%1#jh&#e#zcx`~`s\ZvutV1UjSQQ0kjlhaJ\_HFFDDBB@>Z=XW:U8M  
R543HMO..CHG)E>`<`%##!!};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#dzcxa\_{z\qZotWUJsqQO0MMKgJedGbe`YBA?ZY<:UTMR543H1F/---+  
G\*((=BA#?8!6){9zxx/43s1\*q(ommkkiigeecca)`~`sx[vuXsVqpinQ1ONchgIedG`EZ\_B]\>YXWP9T7R5P01LKLJIBG`E`(<`%`:#!!  
};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#zcxa\_]][[YUWwQTRRgLOjIKKfedc`aD`\_]\UZ=<:P9N75QP01GOE.,HGF(>`<A\$`?`~`|z876v.u,1rpp  
nlljhhffddbb`a|`yr[ZYnsrTpoRgPNjMKK`edFb[DYB@>Z=;PUT6RK4I200...,\*\*((&\$&\$@#!6;|98y6w.u2s0q.-mm\*(i&g\$ecc  
x)|~zy\qvYWWlqTonmPkdILgJeHcbDD`\_W@>YX:VU8MRQ30H1FK.,A\*((&\$&\$@?!6)49zxx/vttrppnlljhh&g\$#`c`\_v~\_rjwZut  
WUUpongLOMMKKIIGcbD`YB@>ZY;WP9N75QP2NGOEJ-++@)`CB\$@9`7`<{2ywwuussq/p,-m\*k(`&#e`cbw`u`s\ZZXVVTTRPPNji  
hJ`I`CFDDYB@`[Z<R;PU866K42NML.D-B+)E(CBA\$?>=<5|8y65v321q(-,m\$ki`g|`dbbw|\_t|yr[pYWWUUSonPleNcLJfEgC`EZ\_B  
@>U><<:8866442N1LK.IB+\*E(CB`#8=<)|3876v.u,sq/.n,%1#jh&#e#zcx`~`s\ZvutV1UjSQQ0kjlhaJ\_HFFDDBB@>Z=XW:U8M  
R543HMO..CHG)E>`<`%##!!};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#dzcxa\_{z\qZotWUJsqQO0MMKgJedGbe`YBA?ZY<:UTMR543H1F/---+  
G\*((=BA#?8!6){9zxx/43s1\*q(ommkkiigeecca)`~`sx[vuXsVqpinQ1ONchgIedG`EZ\_B]\>YXWP9T7R5P01LKLJIBG`E`(<`%`:#!!  
};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#zcxa\_]][[YUWwQTRRgLOjIKKfedc`aD`\_]\UZ=<:P9N75QP01GOE.,HGF(>`<A\$`?`~`|z876v.u,1rpp  
nlljhhffddbb`a|`yr[ZYnsrTpoRgPNjMKK`edFb[DYB@>Z=;PUT6RK4I200...,\*\*((&\$&\$@#!6;|98y6w.u2s0q.-mm\*(i&g\$ecc  
x)|~zy\qvYWWlqTonmPkdILgJeHcbDD`\_W@>YX:VU8MRQ30H1FK.,A\*((&\$&\$@?!6)49zxx/vttrppnlljhh&g\$#`c`\_v~\_rjwZut  
WUUpongLOMMKKIIGcbD`YB@>ZY;WP9N75QP2NGOEJ-++@)`CB\$@9`7`<{2ywwuussq/p,-m\*k(`&#e`cbw`u`s\ZZXVVTTRPPNji  
hJ`I`CFDDYB@`[Z<R;PU866K42NML.D-B+)E(CBA\$?>=<5|8y65v321q(-,m\$ki`g|`dbbw|\_t|yr[pYWWUUSonPleNcLJfEgC`EZ\_B  
@>U><<:8866442N1LK.IB+\*E(CB`#8=<)|3876v.u,sq/.n,%1#jh&#e#zcx`~`s\ZvutV1UjSQQ0kjlhaJ\_HFFDDBB@>Z=XW:U8M  
R543HMO..CHG)E>`<`%##!!};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#dzcxa\_{z\qZotWUJsqQO0MMKgJedGbe`YBA?ZY<:UTMR543H1F/---+  
G\*((=BA#?8!6){9zxx/43s1\*q(ommkkiigeecca)`~`sx[vuXsVqpinQ1ONchgIedG`EZ\_B]\>YXWP9T7R5P01LKLJIBG`E`(<`%`:#!!  
};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#zcxa\_]][[YUWwQTRRgLOjIKKfedc`aD`\_]\UZ=<:P9N75QP01GOE.,HGF(>`<A\$`?`~`|z876v.u,1rpp  
nlljhhffddbb`a|`yr[ZYnsrTpoRgPNjMKK`edFb[DYB@>Z=;PUT6RK4I200...,\*\*((&\$&\$@#!6;|98y6w.u2s0q.-mm\*(i&g\$ecc  
x)|~zy\qvYWWlqTonmPkdILgJeHcbDD`\_W@>YX:VU8MRQ30H1FK.,A\*((&\$&\$@?!6)49zxx/vttrppnlljhh&g\$#`c`\_v~\_rjwZut  
WUUpongLOMMKKIIGcbD`YB@>ZY;WP9N75QP2NGOEJ-++@)`CB\$@9`7`<{2ywwuussq/p,-m\*k(`&#e`cbw`u`s\ZZXVVTTRPPNji  
hJ`I`CFDDYB@`[Z<R;PU866K42NML.D-B+)E(CBA\$?>=<5|8y65v321q(-,m\$ki`g|`dbbw|\_t|yr[pYWWUUSonPleNcLJfEgC`EZ\_B  
@>U><<:8866442N1LK.IB+\*E(CB`#8=<)|3876v.u,sq/.n,%1#jh&#e#zcx`~`s\ZvutV1UjSQQ0kjlhaJ\_HFFDDBB@>Z=XW:U8M  
R543HMO..CHG)E>`<`%##!!};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#dzcxa\_{z\qZotWUJsqQO0MMKgJedGbe`YBA?ZY<:UTMR543H1F/---+  
G\*((=BA#?8!6){9zxx/43s1\*q(ommkkiigeecca)`~`sx[vuXsVqpinQ1ONchgIedG`EZ\_B]\>YXWP9T7R5P01LKLJIBG`E`(<`%`:#!!  
};|zz165u3,s\*qoom+1jj!&%#zcxa\_]][[YUWwQTRRgLOjIKKfedc`aD`\_]\UZ=<:P9N75QP01GOE.,HGF(>`<A\$`?`~`|z876v.u,1rpp  
nlljhhffddbb`a|`yr[ZYnsrTpoRgPNjMKK`edFb[DYB@>Z=;PUT6RK4I200...,\*\*((&\$&\$@#!6;|98y6w.u2s0q.-mm\*(i&g\$ecc  
x)|~zy\qvYWWlqTonmPkdILgJeHcbDD`\_W@>YX:VU8MRQ30H1FK.,A\*((&\$&\$@?!6)49zxx/vttrppnlljhh&g\$#`c`\_v~\_rjwZut  
WUUpongLOMMKKIIGcbD`YB@>ZY;WP9N75QP2NGOEJ-++@)`CB\$@9`7`<{2ywwuussq/p,-m\*k(`&#e`cbw`u`s\ZZXVVT



