

# Novel Degree Distribution を次数分布とする LT 符号に関する分析

明星大学 情報学部情報学科コンピュータ科学コース  
18J5-038 大滝 悠介

指導教員 篠原 聡教授

2021年1月28日

## 概要

Luby Transform 符号 (LT 符号) は噴水符号を初めて実用化した符号であることが知られている。LT 符号の性能に大きく関わってくるものは、次数分布である。次数分布として、Novel Degree Distribution(NDD) がある。本研究では NDD 内のパラメータの値が、LT 符号の復号性能に対してどのように影響を与えるかについてシミュレータを用いて分析した。

## 1 LT 符号について

LT 符号は、2002 年に M.Luby[2] によって提案された噴水符号である。LT 符号は送信するパケットをランダムに選択し、それらを足し合わせて符号化パケットを作成する。LT 符号はピーリング復号と呼ばれる手法によって復号が可能である。ピーリング復号とは、線形連立方程式において、未知変数の一つである方程式から順に解を決定することによってすべての解を得ることができる復号法のことである。

LT 符号がうまく機能するかどうかは次数分布によって決まる。本研究では、LT 符号の次数分布として NDD を用いる。

## 2 NDD について

NDD は、2010 年に Oingxiao Du, Xiaoqin Song, Ying Liu, Liping Zhao ら [3] によって [2] の Robust Soliton Distribution(RSD) と Optimized Degree Distribution(ODD) を基に提案された次数分布

である。 $R = c \ln(K) \sqrt{K}$  と定義する。 $K$  は次数の最大値とする。 $c$  は RSD で追加されたパラメータである。また、 $K/R$  の値を小数点以下第一位を四捨五入した整数とすると、NDD の式は次のようになる。

$$\phi(i) = \begin{cases} c1 & i = 1 \\ c2 & i = 2 \\ c100 & i = 100 \\ R \ln(R)/K, & i = \text{round}(K/R) \\ 1/i(i-1), & \text{else} \end{cases}$$

$$\beta = \sum_{i=1}^K \phi(i)$$

$$\mu_{\text{NDD}}(i) = \phi(i)/\beta, i = 1, 2, \dots, K$$

NDD の特徴として、次数 1、次数 2 と次数 100 の確率を調整できるようになっている。本研究では、次数 1,2,100 を調整するパラメータを  $c1, c2, c100$  とする。また、 $c$  を用いて、高い次数の所に、確率の高い部分 (スパイク) を作っている。

### 3 手順

本研究では、[1]のLT符号のシミュレータを用いる。[1]ではLT符号の次数分布としてRSD分布が実装されているが、本研究ではNDDを追加する。さらに、NDDのパラメータを変更したときのデコード成功率の変化について調べる。デコード成功率は各値毎に1MBのテキストファイルを用いて、パケットサイズは4096、パケット数は153個の条件で100回ずつシミュレータで試行して調べた。

まずNDDのパラメータ $c_1, c_2, c_{100}$ に関して、それぞれ $c_1$ が0.083～0.983の範囲、 $c_2$ が0.087～0.983の範囲、 $c_{100}$ が0.032～0.932の範囲で0.1ずつ変更していった時のシミュレータのデコード失敗率の変化について調べた。

次に、パラメータ $c, c_{100}$ の値が与えるLT符号の性能への影響について調べた。NDDの式よりパラメータ $c$ について、 $c$ の値の変化によって $R$ の値が変わることが分かる。このとき $R$ の値は $3 \leq R \leq K$ の範囲で変化する。その為、パケット数を $K$ としたとき $K/R$ とパラメータ $c_{100}$ に関して、 $K/R$ は10～80までを10ずつ変更していった時の値と99、 $c_{100}$ は0.032～0.932の範囲を0.1ずつ変化していった時のシミュレータのデコード失敗率の変化について調べた。

### 4 結果

パラメータ $c_1, c_2, c_{100}$ を変更していったときの出力結果の特徴を簡潔に示す。 $c_{100}$ の値が大きくなるほど、全体のデコード成功率が低くなった。 $c_{100}$ の値が0.232から大きくなるにつれて、 $c_1$ より $c_2$ の値が小さい時のデコードの成功率が低くなっていた。しかし、 $c_1$ の値が $c_{100}$ の値に近づくにつれてデコードの成功率が高くなる結果となった。

パラメータ $c_{100}$ と $K/R$ の値を変更していった時の出力結果の特徴を簡潔に示す。 $c_{100}$ の値が0.532から大きくなるほど全体のデコードの成功率が低くなっていった。 $c_{100}$ の値が0.532から0.832のとき

に $K/R$ の値が60から80あたりまで大きくなるほど、デコードの成功率が高くなっていったが、逆に80から99ではデコード成功率が少し下がった。

### 5 考察と結論

NDDのパラメータ $c_1, c_2, c_{100}$ と $K/R$ の値を変更していった時のLT符号のデコード成功率への影響についてシミュレータを用いて調べた。各パラメータの値毎にプログラムを100回ずつ試行して、デコードの成功率の変化について調べた。結果としては、NDDの平均次数が大きくなるほど、デコード成功率が低くなると考えられる。また、パラメータ $c_1, c_{100}$ の値が低く、 $c_2$ の値が大きい程デコード成功率は高くなると考えられる。 $K/R$ の値は低すぎるとデコード成功率は低くなり、大きすぎてもデコード成功率は低くなる特徴があると考えられる。

今後の課題として、本研究で得られた分析結果を基に、NDDのパラメータをより厳密に最適化できないか調べることが挙げられる。また、本実験ではランダムなテキストデータを用いてシミュレーションを行っているので、実際に用いられるデータを使ってどのような挙動するかどうか調べる必要もあると考えられる。

### 参考文献

- [1] Introduction to fountain codes: LT Codes with Python, (<https://franpapers.com/en/algorithmic/2018-introduction-to-fountain-codes-lt-codes-with-python/>), URL取得日:2021/12/14
- [2] LT Codes, Michael Luby, Proceedings of The 43rd Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science, 2002, pp. 271–282.
- [3] Implementation of LT Code with a Novel Degree Distribution, Qingxiao Du, Xiaoqin Song, Ying Liu Liping Zhao, Open Journal of Applied Sciences, December 2012, Vol.2 No.4B