

LoRaWANにおけるハフマン符号化と閾値制御による データ通信の効率化

國領 あい理^{†1,a)} 猪田 耕平^{†1,b)} 小比賀 亮仁^{†1,c)} 小坂 隆浩^{†1,d)}

概要：LoRaWANにおいてペイロードサイズに制限がある中、ハフマン符号化を用いたデータ圧縮手法を提案する。本研究では、効率的な圧縮を実現するため、気象庁のデータに基づいた適切なハフマン符号表の作成を模索する。また、気象データの特性を考慮したランレングス圧縮との組み合わせによってさらなる圧縮効果を狙う。更に、センサの電力消費を抑えるために、特定の閾値を超えたデータのみを通信する方式を提案し、通信頻度を減少させることで省電力化を図る。

キーワード：ハフマン符号化, LoRaWAN, データ圧縮, IoT

1. 森林環境におけるセンサネットワークの課題

近年、地球温暖化に伴い大雨や短時間強雨の発生頻度が増加の傾向にあり、洪水などの大規模水害の発生リスクも上昇している。早期に水害の兆候を察知するためには、影響が都市部よりも先に現れやすい森林部にセンサを設置する必要がある。一方、森林部へのセンサ設置は2つの課題がある。一つ目は、通信範囲と信号強度に関する課題である。森林部は4GやLTEなどの通信が届かない環境であることが多く、衛星通信も木々の遮蔽物により強い信号を受信することが難しい。二つ目は、長期稼働における電力供給の課題である。インフラ整備がされていない森林部や山間部において、持続的な電力供給は困難である。

本研究では災害予測を行う防災システム開発のため、電波の届きにくい森林でも長距離の無線通信が可能なLoRaWANを用いる。更に、センサはバッテリーのみで長期稼働が可能となるよう、緊急時にのみデータ送信を行い、通信時の電力消費を抑える。

2. LoRaWANの制約に対するセンサデータの圧縮

LoRaMiniをセンサノードデバイスとして使用し、Lo-

RaWANをベースステーションとして採用する。LoRaWANは、低消費電力で長距離通信を可能とするLPWAネットワーク規格である。その通信範囲は広範囲であり、数kmをカバーする。

一方でLoRaWANのペイロードサイズは最大11バイトという制限があり、データ圧縮によりこの問題を解決する。通信におけるデータ圧縮方法には、ハフマン符号化、ランレングス圧縮、LZW圧縮、算術符号化などがある。本研究では、データの出現頻度に偏りが見られることからハフマン符号化を採用する。また、データ送信は電力を消費するためその頻度を減らしたい。そこでセンサデータが閾値を超えた時のみデータをまとめて送る事で電力消費を低減させる。

3. 関連研究

3.1 防災システムにおけるセンサネットワーク

日本国土交通省の浸水・水害に備えるセンサネットワークシステムは、LPWAとクラウドの利用により広範囲の浸水状況を把握している[1]。この他に、地震早期警報システム、津波警報システム、土砂崩れ災害警報システムなどにもセンサネットワークが用いられている。

3.2 ハフマン符号化

ハフマン符号化は、有限数のメッセージ集合を符号化する圧縮技法であり、各要素の生起確率に基づいて符号を割り当てていき、ハフマン木もしくはハフマン表を作成する方法である[2]。この際、送信される要素には並びが存在し、本研究において送られるセンサデータは時系列順となる。従来のハフマン符号化アルゴリズムでは、ハフマン木の構

^{†1} 同志社大学 理工学部情報システムデザイン学科
Doshisha University Information Systems Design

a) cguh1034@mail4.doshisha.ac.jp

b) cgug1019@mail4.doshisha.ac.jp

c) kohiga@gmail.com

d) tkoita@mail.doshisha.ac.jp

造が複雑になりがちであるが、これを改良した手法としてハフマンディープコンプレッション (HDC) がある。この方法は、スライディングウィンドウ技術を導入し、深層学習におけるブルーニング技術を活用することで、メモリ使用量の削減と大規模データセットに対するデータ圧縮の効率向上を実現している [3]。

4. 提案手法：「季節毎の雨量変化に着目したハフマン符号化」

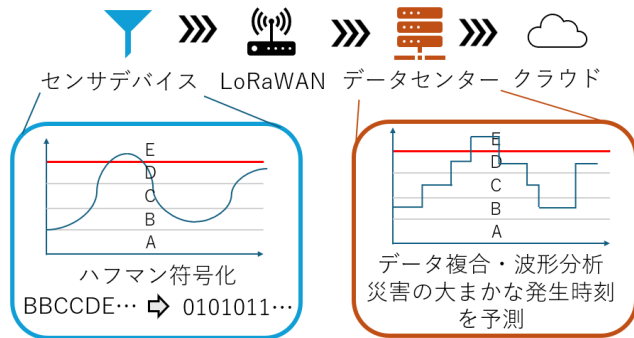


図 1: センサデータ送信におけるハフマン符号化の利用

4.1 森林のセンサデータに基づく効率的なハフマン符号表の作成

気象庁の気象データを分析し、森林の温度・湿度データにおける出現頻度の偏りを確認する。この分析結果に基づき、春夏秋冬ごとにハフマン符号表を作成することで、季節ごとの温度・湿度センサデータの符号化を最適化する。

以下の表 1 は京都府京田辺市における冬 (2023 年 12 月から 2024 年 2 月) の気温に基づいた符号化の例である。温度の上限を 23 °C, 下限を -9 °C として、その範囲を 4 等分したものと、各温度範囲に対し、ハフマン符号化を行った結果が示されている。

表 1: 京田辺の 2023 年冬の気温のハフマン符号

温度 (°C)	ハフマン符号
(15, 23]	000
(-9, -1]	001
(7, 15]	01
(-1, 7]	1

4.2 ハフマン符号とランレングス圧縮の組み合わせ

気温は多くの場合短期間における変動が小さいため、ランレングス圧縮を用いることで連続した同じ気温のデータを効率的に圧縮できる。例えば、ハフマン符号化された温度データに対しても、連続するデータの出現回数を示すためにハフマン符号を使用する。この場合、温度データと連続回数のデータを交互に記録して送信する。

以下は、表 1 において、(7,15] の温度が 6 回、(-1,7] の温度が 8 回連続して観測された場合の圧縮例である。6 回を「1」、8

回を「01」とハフマン符号化した場合、結果は次のようになる。

ハフマン符号のみを用いる場合: 01010101010111111111

ランレングス圧縮を併用する場合: 011101

このようにして、ハフマン符号とランレングス圧縮を組み合わせることで、データの圧縮率を高めることが出来る。現在は温度・湿度センサを使用しているが、洪水予測では、降水量や河川水位センサに同様の提案手法を適用する。

4.3 閾値に基づくデータ送信

センサーデータに対して異常を示す閾値を設定し、その閾値を超えた場合にのみデータを送信する。災害リスクが高まっていることを示唆する為、例えば温度センサは 35 °C, 湿度センサは 80% などに設定する。このプロセスでは、閾値を超える前の数時間分のデータを時系列で送信する。データをまずハフマン符号に変換し、圧縮を行う事で可能な限り長い期間の過去データを送信する。

4.4 データセンターにおけるデータの解析

受け取ったデータはデータセンターにて解析し、時系列データのパターンを分析する。例えば分析した降水量・河川水位データの概形からおおよその洪水発生時刻を予測し、災害への対策を講じるために活用する。

5. 期待できる効果

LoRaWAN を使って、緊急時にもデータを送る事で、データ送信による電力消費を抑える事が出来る。また、ペイロードサイズに制限のある LoRaWAN でも季節毎の雨量変化を考慮してハフマン符号化を用いる事で、比較的大きいデータを送る事が可能になる。

今後音声センサの設置により、洪水時だけでなく通常時にも遭難者の発見や犯罪者の逃走経路の追跡に役立てることが出来ると考えている。この際、出来事が発生した順番でイベント列を送信できるため、事象の予測が可能になると考えている。また、ASIC を使用すれば HDC の導入が可能になり、より長期間のデータ送信を実現できる。

参考文献

- [1] 国土交通省. (2018). ICT 活用による建設業の生産性向上に向けた取組 [PDF]. 国土交通省. https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/pdf/matching_180516_siryuu_7.pdf
- [2] D. A. Huffman, A Method for the Construction of Minimum-Redundancy Codes, in Proceedings of the IRE, vol. 40, no. 9, pp. 1098-1101, Sept. 1952, doi: 10.1109/JR-PROC.1952.273898.
- [3] A. Said Nasif, Z. Ali Othman, N. Samsiah Sani, M. Kamrul Hasan and Y. Abudaqqa, Huffman Deep Compression of Edge Node Data for Reducing IoT Network Traffic, in IEEE Access, vol. 12, pp. 122988-122997, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3452669.