

多深度海水温連続観測装置におけるビットエラー訂正機能の開発

沖原 彰[†] 遠藤 慶一[‡]
愛媛大学工学部情報工学科[†]

黒田 久泰[‡] 小林 真也[‡]
愛媛大学大学院理工学研究科[‡]

1. はじめに

愛媛県は、令和元年において全国で3位の海面漁業・養殖業産出額を誇り、養殖漁業においては全国1位の産出額である [1]。中でも宇和海域で行われている養殖漁業は、県内産出額の約77%を占めている。

漁業従事者や水産研究者の間では、魚病の発生や赤潮の発生と海水温とは深い関連性があることが知られている。養殖漁業では、魚病の蔓延や赤潮の発生によって甚大な被害を受けるため、即急な対応をする必要がある。しかし宇和海は、急潮と底入り潮と呼ばれる2種類の異なる水温の海流が流れ込んでくるため、海水温の変動が激しく、海水温の予測が難しい海域となっている。

海水温の観測において、市販の装置は高価であるため、多地点の設置は困難であった。そこで、我々は安価な多深度海水温連続観測装置を開発し、それにより多地点の設置が可能になった [2]。現在、宇和海海域17ヶ所に観測装置が設置されており、30分または1時間毎に海水温を測定し、サーバーに送信している。取得した水温データはWeb上で公開している [3]。

この観測装置が抱える課題の一つに、稀に実際の水温とはかけ離れた値（以下、異常値と呼ぶ）が発生するといった問題がある。そこで、本研究では、観測装置から送られてくる水温データに異常値が含まれている場合に、正しいと考えられる数値に訂正する手法を提案する。

2. 多深度海水温連続観測装置

多深度海水温連続観測装置の構成を図1に示す。装置は、30分毎に起動し、海水温を測定し、サーバーに送信する。開発した観測装置の海水温センサーは、1-wireの水温センサーと2芯のケーブルを組み合わせて製作しており、測定した値は2進数で、符号が上位4ビット、水温情報が下位12ビットの計16ビットのデータとして送られる。測定値取得の際、2芯ケーブルでの水温情報伝送中にビットエラーが発生する。このビットエラーが異常値となる主な原因である。過去の測定結果では、ビットエラー発生率は約0.011%程であった。

これまで、異常値の対策として、同一深度に対して取得した3回のデータの中央値を測定値として使用していた [4]。しかし、この方法では3回測定したデータの内2つ以上に異常値が発生した場合、実際の水温とかけ離れ

た値を測定値としてしまう場合がある。そこで、ビットエラーを検出し、訂正を行うアルゴリズムを実装した。

使用しているセンサーの分解能は $1/16(=0.0625)^{\circ}\text{C}$ であり、連続して測定を行った際であっても、海流の影響で実際に水温が変動するなどが原因で、連続測定した水温データに多少の差（以下、ゆらぎと呼ぶ）が生じる。誤り訂正のため、同一深度で海水温測定を3回連続で行っているが、測定値のゆらぎによって、全てのデータが異なる値となる場合がある。表1のように、ゆらぎによる桁上がりが発生した場合、2つの値の差は 0.0625°C と、下位1ビット分の数値差であるが、ハミング距離としては9ビットの差となる。そのため、単純なハミング距離の取得ではビットエラーを訂正することができない。そこで、桁上がりが起きた際にもビットエラーを訂正することが必要である。

3. ビットエラー訂正機能

3.1. ビットエラーの検出

現在、観測装置では誤り訂正を行うため、測定時に同一深度で海水温を3回連続で測定している。測定した3回のデータの数値差が 0.1875°C より大きい場合に、ビットエラーの検出のため、測定値のゆらぎで変動する下位2ビットを除いた、残り上位14ビットにおいてハミング距離の取得を行う。

ゆらぎによる桁上がりの発生の対策として、2の補数を利用する。表2は表1で例示した値を2の補数に変換した値である。元のデータではハミング距離が9と大きく離れていたが、2の補数に変換することによりハミング距離は1となる。2つの値の差は 0.0625°C 分の下位1ビットのみの変化であり、下位2ビットを除いてハミング距離を取得した場合、ハミング距離は0となるた

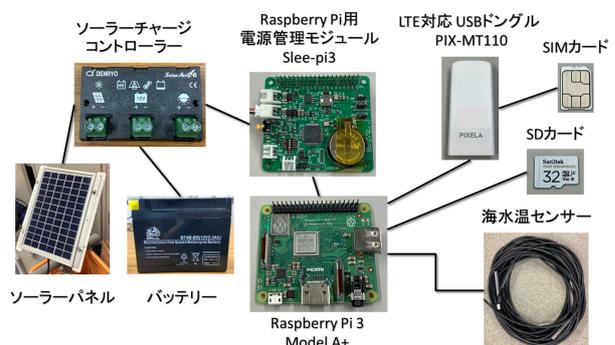


図1 多深度海水温連続観測装置の構成

表1 桁上がりが発生した際の例示

10進数 [$^{\circ}\text{C}$]	2進数	ハミング距離
16	0000 0001 0000.0000	9
15.9375	0000 0000 1111.1111	

Development of Bit Error Correction for Multi-Depth Sea Water Thermometer

[†] S. Okihara

Department of Computer Science, Faculty of Engineering, Ehime University

[‡] K. Endo, H. Kuroda, S. Kobayashi

Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

め、ゆらぎによる差分と判断することができる。ビットエラーが発生している際は、元々のデータ同士で取得したハミング距離、および、2の補数の値同士で取得したハミング距離がともに1以上の値となるため、測定した3回のデータにおいて、元々のデータ同士、2の補数の値同士でハミング距離を取得することで、ビットエラーの検出を行うことができる。

3.2. ビットエラー訂正

ハミング距離の取得により、ビットエラーの発生を検出した際、ビットエラー訂正を行う。訂正は、測定した3回のデータにおいて、ゆらぎが発生しうる下位2ビットを除いた上位14ビットに対して桁ごとに多数決を採り、ビットの修正を行う。桁上がりが発生している際は、2の補数に変換した値で多数決を採り、訂正を行う。桁上がりが発生しているかの判断は、ビットエラー検出の際に取得した、元々のデータの値で取得したハミング距離の最大値と、2の補数に変換後の値で取得したハミング距離の最大値を比較する。2の補数への変換後の値で取得したハミング距離の最大値の方が小さければ、桁上がりが発生していると判断する。

4. 評価

提案アルゴリズムで、正しくビットエラーを検出し、ビットエラー訂正を行うことができるか評価を行った。評価手段として、意図的にビットエラーを発生させたダミーの水温データを用意し、そのビットエラーを検出・訂正することができるかテストを行った。ダミーデータは、ダミーの水温データ16ビットの桁ごとに1%の割合でビットエラーを発生させたものと、3回分のダミー水温データ全てにおいて、16ビットのどこかの桁でビットエラーを発生させたものの2種類のデータを用意した。

用意した2種類のダミーデータにおいて、提案手法で誤り訂正を行った結果、3つのダミー水温データの内、2つ以上のデータにおいて同じ桁でビットエラーが発生した場合を除き、全てにおいてビットエラーを検出し、多

表2 2の補数へ変換した際の例示

	10進数 [°C]	2進数	ハミング距離
元データ	16	0000 0001 0000.0000	9
	15.9375	0000 0000 1111.1111	
2の補数	-16	1111 1111 0000.0000	1
	-15.9375	1111 1111 0000.0001	

表3 提案アルゴリズムでビットエラー訂正を行った際の一例

	元のダミー水温データ	ビットエラーを含むダミー水温データ	提案手法による値	中央値
2つの測定値にそれぞれ1ヶ所ビットエラーが発生した場合の例	25.1875 - 0000 0001 1001.0011	89.1875 - 0000 0101 1001.0011	25.1250 0000 0001 1011.0010	27.1250
	25.0625 - 0000 0001 1001.0001	25.0625 - 0000 0001 1001.0001		
	25.1250 - 0000 0001 1001.0010	27.1250 - 0000 0001 1011.0010		
3つの測定値にそれぞれ1ヶ所ビットエラーが発生した場合の例(1)	28.0000 - 0000 0001 1100.0000	12.0000 - 0000 0000 1100.0000	28.0000 0000 0001 1100.0000	20.0000
	28.0000 - 0000 0001 1100.0000	30.0000 - 0000 0001 1110.0000		
	28.0000 - 0000 0001 1100.0000	20.0000 - 0000 0001 0100.0000		
3つの測定値にそれぞれ1ヶ所ビットエラーが発生した場合の例(2)	27.5000 - 0000 0001 1011.1000	31.5000 - 0000 0001 1111.1000	27.5000 0000 0001 1011.1000	59.4375
	27.5000 - 0000 0001 1011.1000	91.5000 - 0000 0101 1011.1000		
	27.4375 - 0000 0001 1011.0111	59.4375 - 0000 0011 1011.0111		

数決によるビットエラー訂正を行うことができた。その結果の一例を表3に示す。この表より、3つのデータの内、2つ以上が異常値となった場合、3つの水温データの中央値では正しい水温にならないが、提案手法では、元の水温に訂正できていることがわかる。

3つの水温データの内、2つ以上のデータにおいて同じ桁で複数回のビットエラーが発生した場合、提案手法を用いても、ビットエラーを訂正することはできなかった。しかし、同一の測定時における異なる深度の測定値や、前後の時間における測定値と比較することで、3つの水温データの内、2つ以上において同じ桁でビットエラーが発生したと推測することができる。ビットエラーが発生した値と推測できた場合は、その測定値を使用しないことで、異常値を排除することができる。

5. おわりに

本研究では、開発した多深度海水温連続観測装置における、観測データの信頼性を向上させるため、異常値発生原因の一つであるビットエラーを検出し、訂正を行うプログラムを開発した。

今回開発したビットエラー訂正プログラムは、3回測定したデータの内2つ以上でビットエラーが発生した場合でも、正しいと考えられる値を取得することができる。ビットエラーの検出を行った際、ビットエラーの発生具合に応じて誤り訂正の手法を使い分けることで、観測データの信頼性を向上させることができた。

参考文献

- [1] 愛媛県庁, えひめの水産統計 愛媛県漁業の地位 (令和元年), <https://www.pref.ehime.jp/h37100/toukei/documents/1-1.pdf> (参照 2021-12-23)
- [2] 荒木康輔, 藤橋卓也, 遠藤慶一, 黒田久泰, 小林真也: “海況予報情報サービスのための海水温連続観測装置の開発”, 情報処理学会第80回全国大会講演論文集(4), pp.553-554, 2018.
- [3] 宇和海水温情報運営管理協議会, You see U-Sea 宇和海海況情報サービス, <http://akashio.jp/>
- [4] 阿草 裕, 遠藤 慶一, 黒田 久泰, 小林 真也: “海水温予測のための水温情報精度向上を目的とした異常値検出・排除手法の提案”, 情報処理学会 マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2020 論文集, pp.267-273, 2020.