

海亀生態観測衛星通信システムにおける誤り率改善について

斉藤 諭*, 大矢 貴文, 旭 健作, 小川 明(名城大学)

A study on the error rate improvement in the turtle mode of life observation satellite communication system

Satoru Saito, Takafumi Oya, Kensaku Asahi, Akira Ogawa (Meijo University)

1. はじめに

現在、鯨やイルカ、海亀といった海洋生物の生態調査が盛んに行われている。本稿は海亀の生態を衛星通信によって観測するシステムを対象としている。海亀に搭載する通信装置は、形状、電池寿命から送信電力を低く抑える必要がある[1]。したがって、劣悪な環境下で通信を行うために、入力ビット誤り率が高い場合でも有効な誤り訂正が必要となる。そこで、高い入力ビット誤り率でも誤り訂正能力を有し、その上、訂正能力と誤り検出能力を合わせ持つ高次元パリティチェック符号[2]を用い、海亀生態観測に適した復号方法について検討を行った。

2. 海亀生態観測における要求条件

海亀の行動状態、データ中継衛星の構成を考慮し、次のような要求条件を設定した。

- (a) 送信するデータサイズにより、一辺のサイズ 5 ビットの 3 次元 (3Dm5) パリティチェック符号を使用する。
- (b) 海亀からデータがデータリレー衛星に正しく送信される確率は低いため、同じデータを 2 度送信する。
- (c) データブロックの誤訂正(誤りは検出されないが誤りが含まれている) 確率を極力低くすること。
- (d) 衛星上においてデータが硬判定された場合に上記の条件が満たされるものとする。

3. 高次元パリティ符号

高次元パリティ符号は単一パリティチェック符号を高次元に拡張したもので、さらに巡回操作を含めることで構成し、符号ブロック全体で誤り訂正能力を高めた符号である。ビット誤り率 (BER) が $10^{-1} \sim 10^{-2}$ という非常に劣悪な環境下においても十分有効に動作し、誤り検出と誤り訂正を同時に行うことができる。

4. 高次元パリティ符号の復号法

高次元パリティチェック符号を復号する方法として、ここでは最大検出点反転法[2]に基づいた方法を用いる。

<4・1>最大検出点反転法

最大検出点反転復号法のアルゴリズムを示す。

- ① 受信後 R を一時復号語 D_1 とする。
- ② 一時復号語 D_i をパリティチェックする。パリティエラーがなければ、復号語 $D=D_i$ として終了する。
- ③ 各ビットについて、誤りを検出したパリティ検査線の本数 e をカウントし、最大値 e_{\max} を求める。
- ④ $e_{\max}=1$ の場合、誤り検出として終了。それ以上の場合、検査線が e_{\max} のビットを反転パターン I_i とする。
- ⑤ 反転パターンを用いて、一時復号語を更新する。すなわち、 $D_{i+1}=XOR(D_i, I_i)$
- ⑥ i が規定回数に達したら、誤り検出として終了。それ以下ならば、 $i=i+1$ として②へ。

<4・2>時間ダイバシチを用いた最大検出点反転法

同じデータブロックを 2 回送信する、すなわち時間ダイバシチを用いた場合の最大検出点反転復号法を提案する。その復号のアルゴリズムを以下に示す。

- ① 受信後 R^1 を一時復号語 D_1^1 、もう一つの受信語 R^2 を一

時復号語 D_1^2 とする。

- ② D_1^1 と D_1^2 の各ビットを比較し、同じ場合“3”，異なる場合“1”として、反転閾値 T_i を求める。
- ③ D_1^1 をパリティチェックする。パリティエラーがなければ、一時復号語 $D_{i+1}^1=D_1^1$ として⑥(D_1^2 については⑦へ)へ。
- ④ D_1^1 の各ビットについて、誤りを検出したパリティ検査線の本数 e をカウントし、最大値 e_{\max}^1 を求める。
- ⑤ $e_{\max}^1 > T_i$ のビットを反転し、一時復号語を更新する。
 $e_{\max}^1 > T_i$ を満たすビットがない場合は、 $e_{\max}^1=T_i$ のビットを反転し、一時復号語を更新する。
- ⑥ D_1^2 についても、③～⑤を行う。
- ⑦ D_1^1 , D_1^2 の両方にパリティエラーがなく、 $D_1^1=D_1^2$ なら、復号語 $D=D_1^1$ として、 $D_1^1 \neq D_1^2$ なら、誤り検出として終了。
- ⑧ i が規定回数以下ならば、 $i=i+1$ として②へ。
- ⑨ D_1^1 , D_1^2 の両方パリティエラーが存在する場合、誤り検出として終了。それ以外は、パリティエラーがない方を復号語 $D=D_i^m$ として終了。

5. 特性評価

ここでは、125 ビットから成るデータブロックについて計算機シミュレーションにより誤訂正確率、訂正不能確率によって特性を評価する。

誤訂正確率 : データブロックで誤りが検出されなかったが、誤りが残っている確率

訂正不能確率 : 誤訂正確率+データブロックに誤りを検出した確率=(1-正訂正確率)

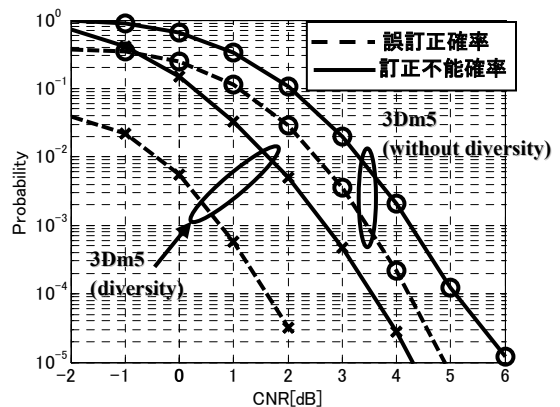


図1 CNR 対誤訂正確率、訂正不能率

6. まとめ

時間ダイバシチを行うことにより、低 CNR(入力 BER が高い)においても、誤訂正確率を大幅に減少させることが出来た。また、正訂正確率もダイバシチを行わない場合に比べ、約 2[dB]向上することが確認できた。

文 献

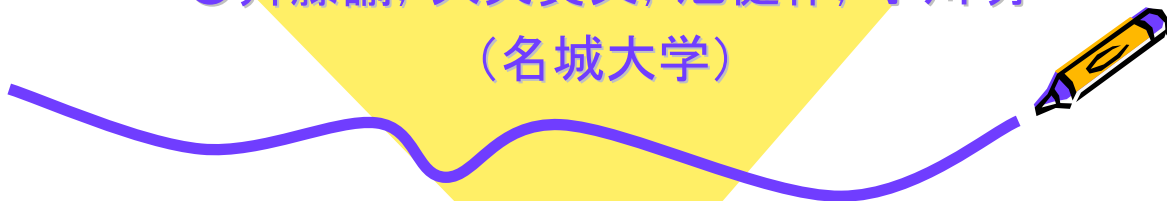
[1] 石垣, 小川, “海亀生態観測用通信システムのデータ構成と誤り制御”, 東海支部連合大会, 2003.

[2] 宇佐見, ほか: 高次元パリティ符号の最大検出点反転復号法に関する考察, SITA2004, p.275-278



海亀生態観測用衛星通信システム における誤り率改善について

○斉藤諭, 大矢貴文, 旭健作, 小川明
(名城大学)



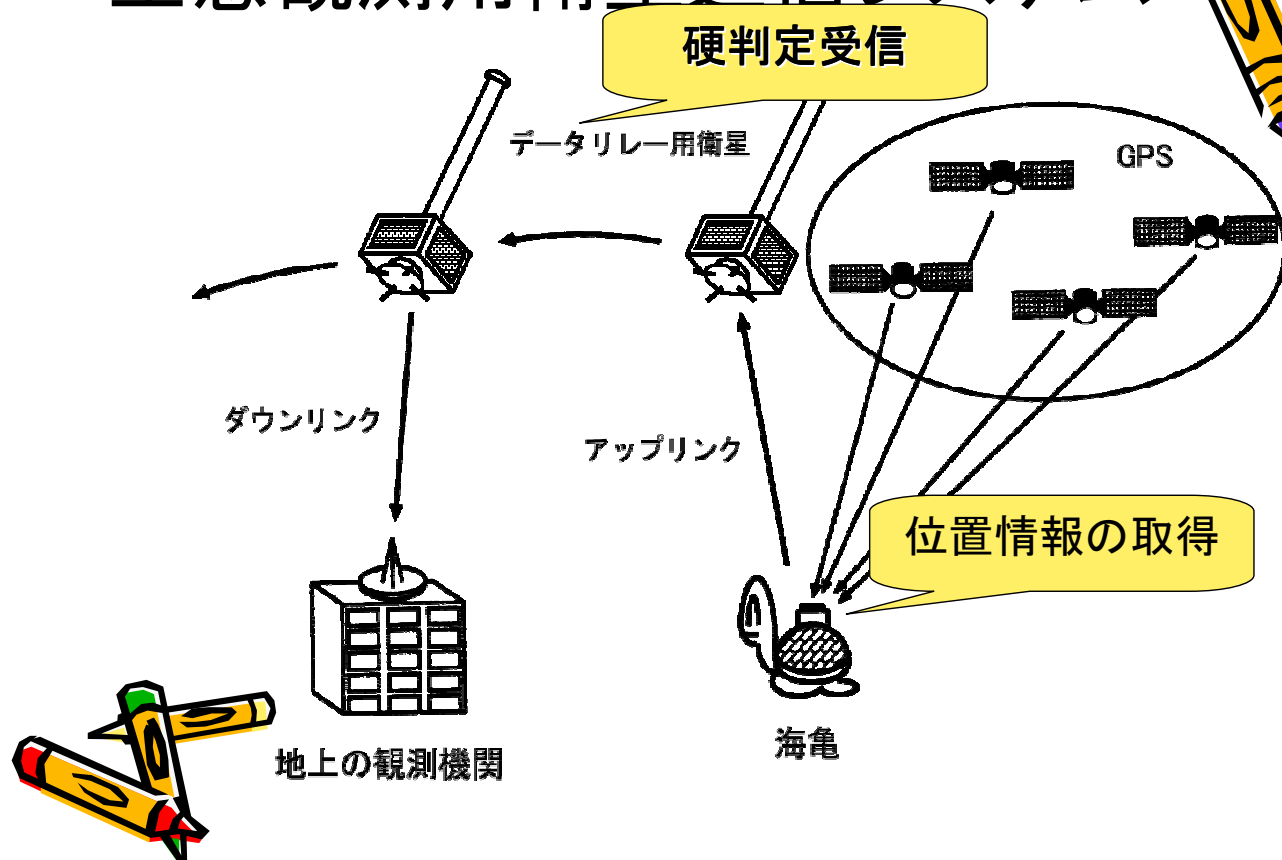
2005/09/16(Fri)

研究背景

- 海亀生態観測用衛星通信システムでは、海亀に搭載する装置の小型化、低消費電力化が必須である
- そのために送信電力を抑える必要がある
- その結果、劣悪な環境下で通信する必要上、強力な誤り制御が必要である



生態観測用衛星通信システム



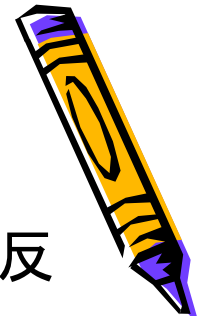
海亀生態観測における要求条件

- 90%以上の無誤りデータブロックの取得率
(**正訂正取得率**)が得られること
- 誤りは検出されないが誤りが含まれているブ
ロック取得率(**誤訂正取得率**)をできるだけ低く
抑えること
- データリレー衛星中でデータが硬判定される場
合に、上記条件が満たされること

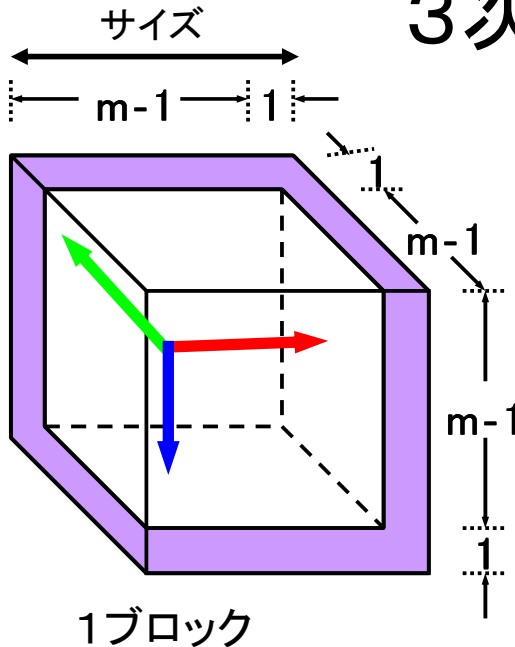


研究目的

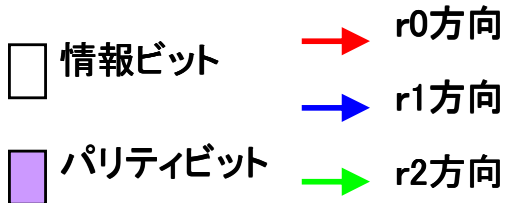
- 3次元パリティ符号を用い、最大検出点反転法によって誤り制御を行う
- 時間ダイバシチを適用した場合の最大検出点反転法のアルゴリズムを確立する
 - ✓ 空間ダイバシチとは異なり、別々に硬判定受信されたものを合成する必要がある
- この方式の特性をシミュレーションによって評価する



3次元パリティ符号



- 単一パリティ符号を3次元に拡張
- 各方向に1の数が偶数個になるようにパリティを付加
- 入力ビット誤り率 (BER) が 10^{-1} でも誤り訂正能力を有する
- 復号法として、簡易な最大検出点反転復号法がある



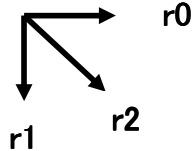
海亀生態観測システムにおける 3次元パリティ符号



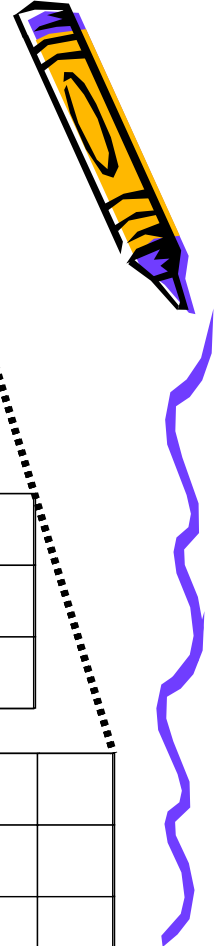
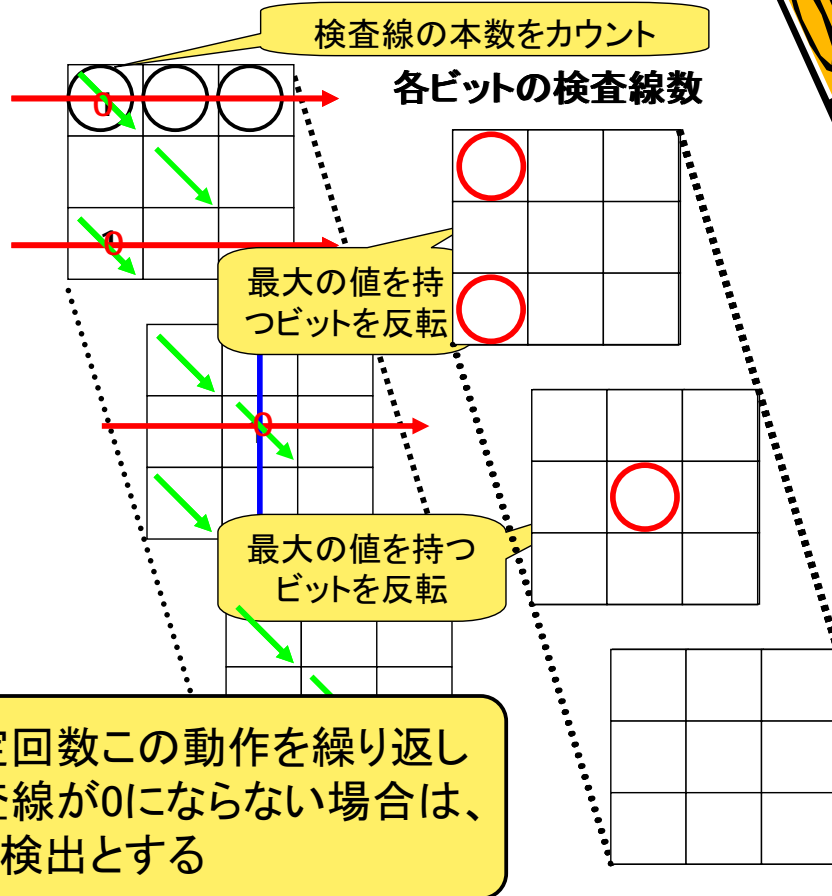
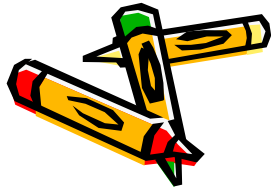
- 海亀生態観測システムでは、観測データの情報量に基づき、サイズ5の3次元パリティ符号を用いる。
- データ取得率向上のため、同じデータを2度送信する。(時間ダイバシチ)
 - 衛星において、それぞれ硬判定受信されたデータを復号



最大検出点反転法



以降、説明のため、全て0の符号語を送信した場合を考える。
⇒1は通信路によって加わった誤り



ダイバシチを用いた場合の 最大検出点反転法



受信系列1

反転閾値

受信系列2

1		1	3	3		
		3	1	3	1	
	1	3	3	3	1	

		3	3	3		
		1	3	3	1	
		3	1	3		1

			3	3	3		
		1	3	3	3		1
	1		3	1	3		

両者が異なるビットの場合
⇒信頼性が低いので、
反転閾値を1に設定

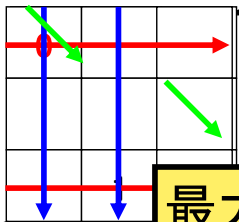
両者が同じビットの場合
⇒信頼性は高いので、
反転閾値を3に設定



ダイバシチを用いた場合の 最大検出点反転法(受信系列1)



受信系列1



各ビットの検査線数

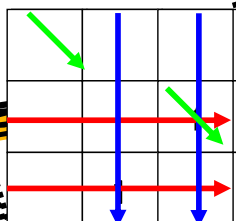
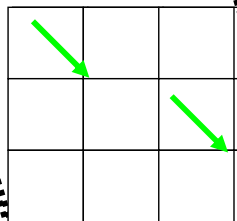
3	2	1
1	1	1

反転閾値

1	3	3
---	---	---

最大検査線数を持つビットと反転閾値を比較する

検査線数が反転閾値以上あるので、
ビット反転する。無ければ反転閾値と
等しいのを反転する。



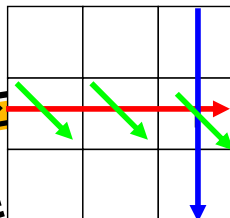
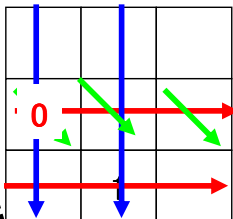
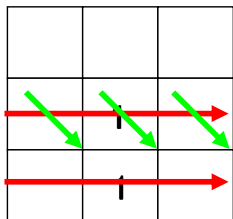
1	1	1
1	2	3
1	2	1

3	3	3
3	3	3
3	3	3



ダイバシチを用いた場合の 最大検出点反転法(受信系列2)

受信系列2



各ビットの検査線数

2	2	2
1	1	1

1	1	
3	3	2
2	2	1

		1
2	2	3
		1

反転閾値

1	3	3
3	1	3
3	3	3

3	3	3
1	3	3
3	1	3

3	3	3
3	3	3
3	1	3



ダイバシチを用いた場合の 最大検出点反転法

受信系列1

0		
	1	

受信系列2

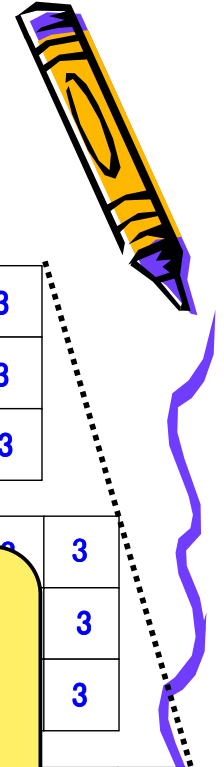
--	--	--

反転閾値

3	3	3
3	1	3
3	3	3

再び誤り訂正操作を
繰り返し行う

- 最大検査線数が0になったら終了
- 所定回数訂正操作を行っても、
両方とも最大検査線数が0とならない
場合は誤り検出
- ただしどちらかが0となれば訂正完了



特性評価

- 計算機シミュレーションにより、ダイバシチを用いた場合と、用いない場合の特性を評価する
- サイズ5の3次元パリティ符号を用いる
- 海亀からデータリレー衛星へのCNRに対する下記の確率によって評価する

- 誤訂正確率

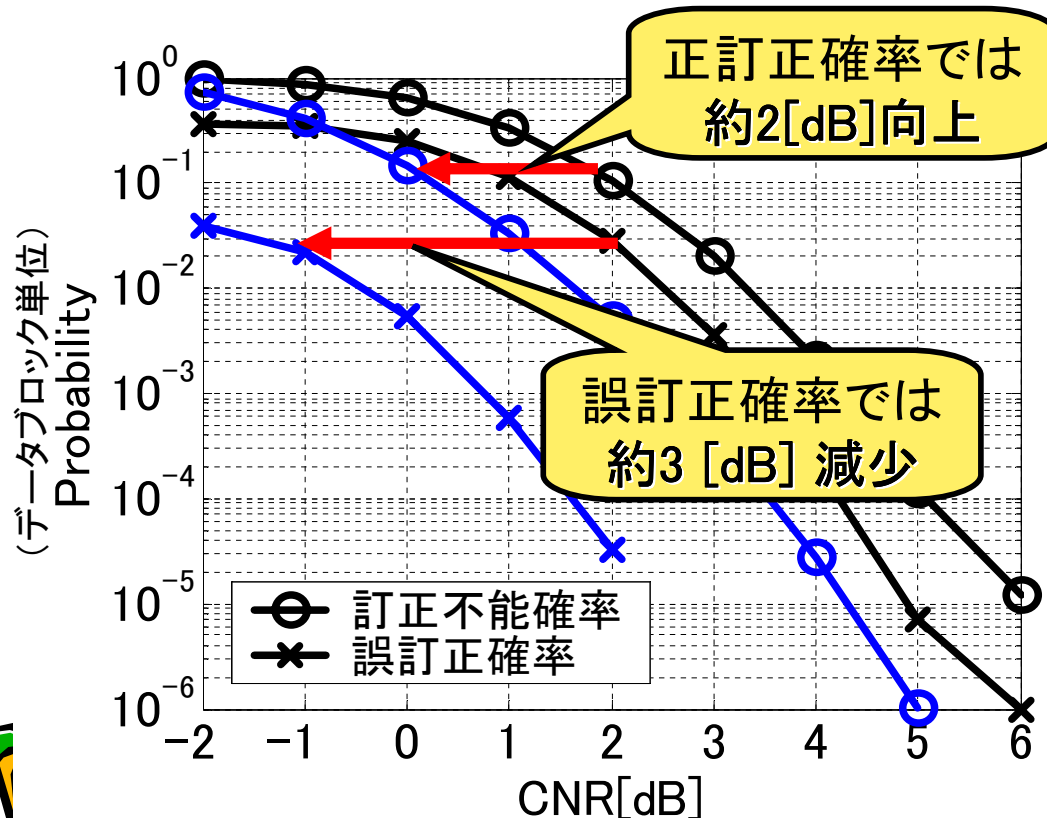
データブロックで誤りが検出されなかったが
誤りが残ったまま復号される確率

- 訂正不能確率

・ 誤訂正+誤り検出 ($= 1 - \text{正訂正確率}$)



シミュレーション結果



(青:ダイバシチ有, 黒:ダイバシチ無)

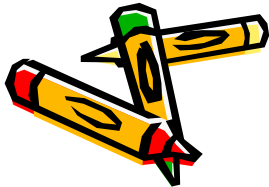
考察

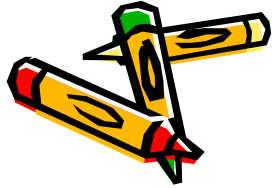
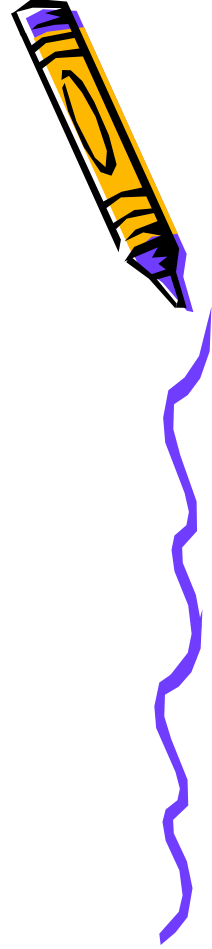
- 硬判定受信を行っている場合において、正訂正確率を約2[dB]向上させることができた。
- 誤訂正確率は約3 [dB] 減少させることができた。
- 提案した復号法は、データリレー衛星において
硬判定受信された場合でも、有効な復号法である



まとめ

- ダイバシチを適用した高次元パリティ符号の復号法を提案し、その特性を評価した。
- 時間ダイバシチを利用することで CNR が低くても (入力 BER が高くても),
 - データブロックの取得率を CNR で約 2[dB] 向上することができた。
 - 時間ダイバシチを用いることにより, 誤訂正確率を大幅に減少させることができた。





- 通常, 軟判定受信を行ってダイバシチ受信を行った場合, 3dB特性が良くなる
- しかし, 硬判定受信された信号をダイバシチ受信することはできない(3回送れば多数決が取れるが, 2回では取れない)
- 本研究では, 硬判定受信された信号を誤り訂正と組み合わせ, ダイバシチ受信をおこなっており, 2[dB]特性が良くなっている

