

IT 研/EMM 研@小樽

関数計算のためのデータ圧縮 ～関数の二分法によるアプローチ～

葛岡 成晃
(和歌山大学)

この資料について

- 2016年5月19日(木)から20日(金)に実施された情報理論研究会(EMM研究会との合同研究会)における招待講演で用いたスライドを一部修正したものです.
- 講演内容の詳細については技術研究報告
葛岡成晃, “関数計算のためのデータ圧縮 ～関数の二分法によるアプローチ～,” 信学技報, IT2016-10, pp. 55-61, 2016年5月.
をご参照ください.

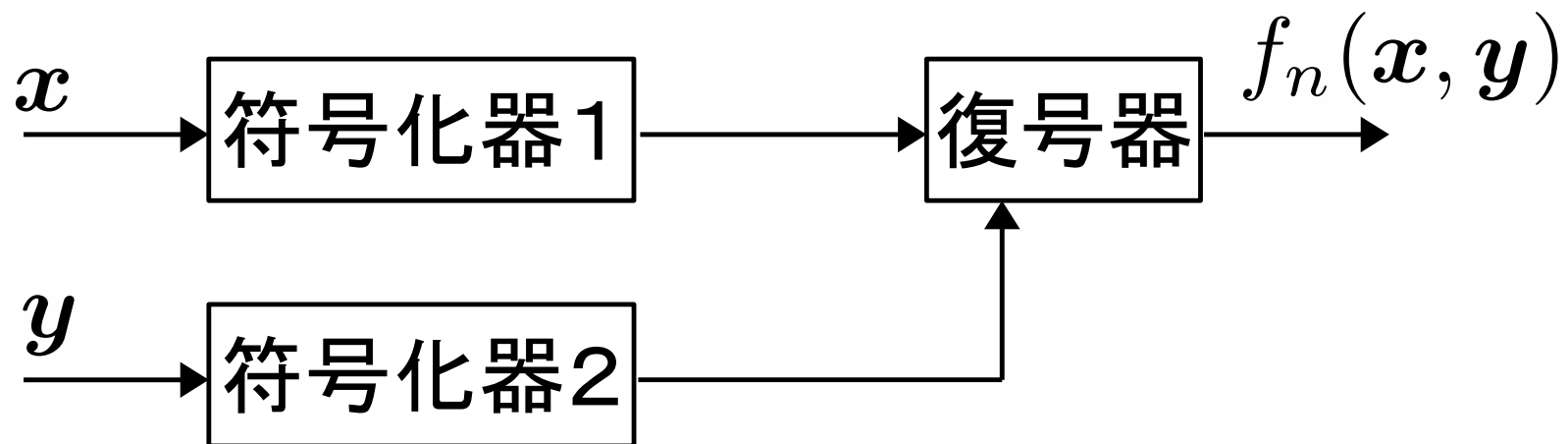
謝辞

- 本稿の一部は東京農工大学の渡辺峻先生との共同研究の成果[1]を基に執筆しています. 普段から熱心にご議論頂いている渡辺先生に深く感謝致します.

[1] S. Kuzuoka and S. Watanabe, ``A dichotomy of functions in distributed coding: An information spectral approach," IEEE Trans. Inf. Theory, vol.61, no.9, pp.5028–5041, 2015.

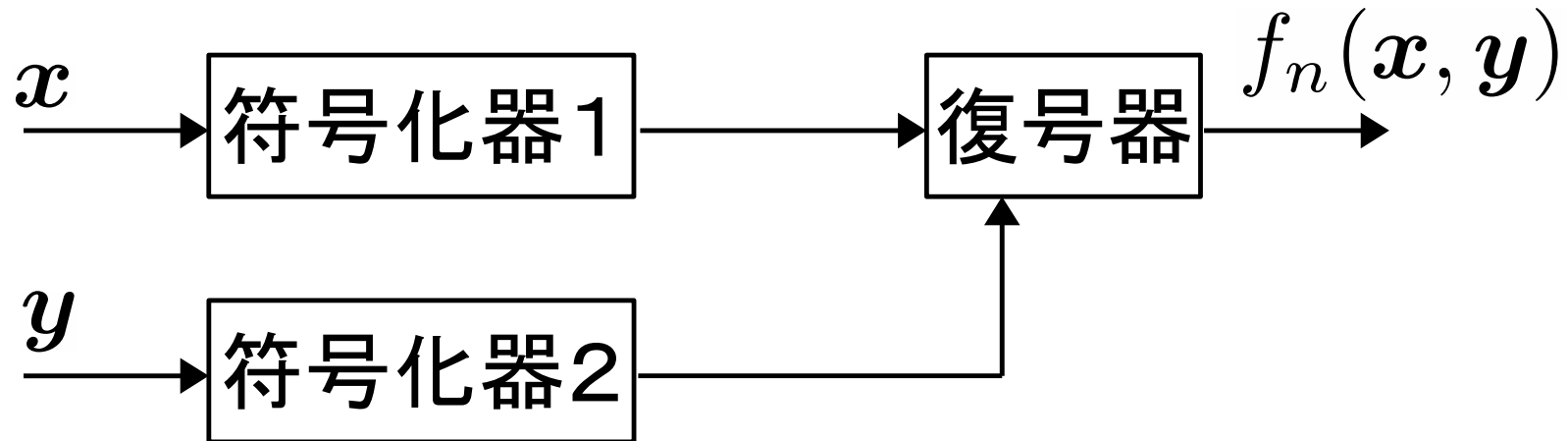
お話しすること

関数計算のためのデータ圧縮



お話しすること

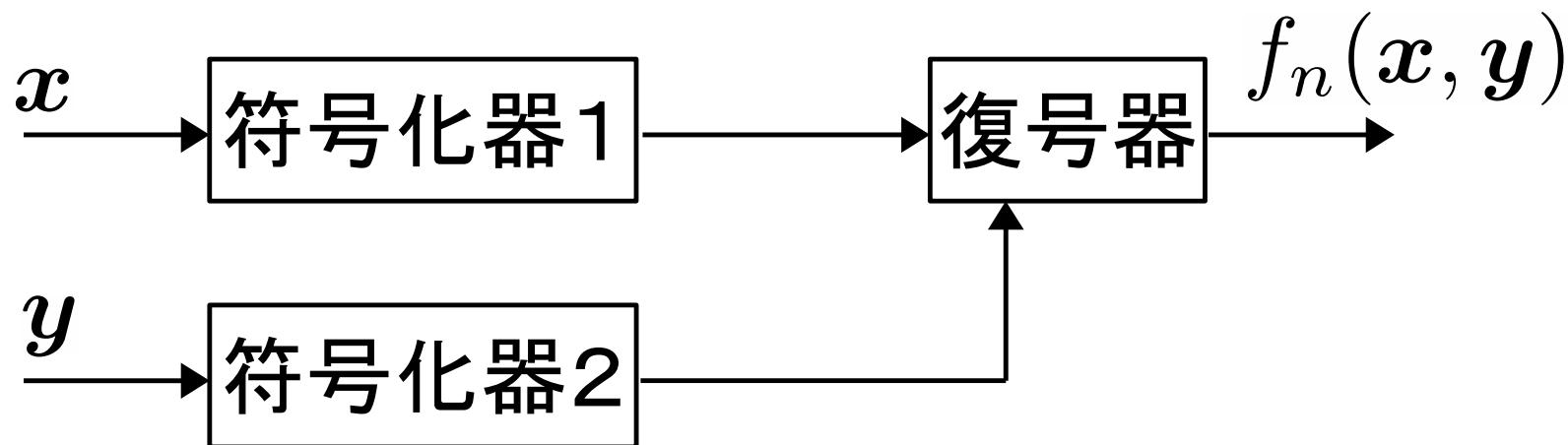
関数計算のためのデータ圧縮



x, y そのものを復元する必要がないなら，通信レートは改善できるはず….

お話しすること

関数計算のためのデータ圧縮



x, y そのものを復元する必要がないなら，通信レートは改善できるはず….

通信レートを改善できる関数と「できない関数」の線引き？

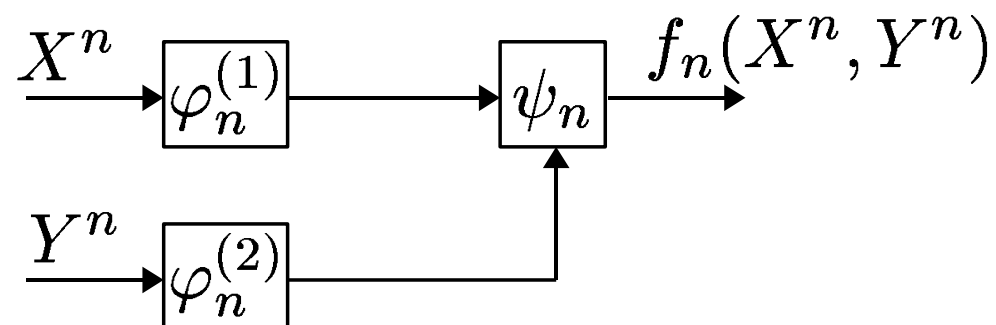
関連研究

- 情報理論的な分散計算のためのデータ圧縮については,
A. El Gamal and Y.H. Kim, Network Information Theory, Cambridge University Press, 2011.
の第21章が大変参考なる.
- 計算機科学の分野では「通信複雑性」の理論として盛んに研究がおこなわれている. 特に最近は通信複雑性の理論と情報理論との関連が注目されている(本講演では立ち入らない).

お品書き

1. 問題設定
2. 導入 ～二値対称情報源と排他的論理和～
3. 復号器補助情報がある場合
4. 二つの符号化器による符号化

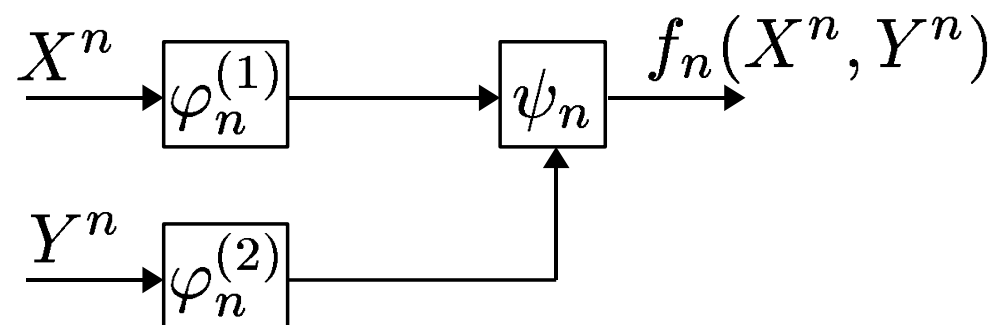
問題設定 (情報源)



- 有限集合 $\mathcal{X}, \mathcal{Y}$
- $\mathcal{X}^n$ 上の確率変数 $X^n = (X_1, X_2, \dots, X_n)$
- $\mathcal{Y}^n$ 上の確率変数 $Y^n = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$
- X^n と Y^n の同時分布：

$$P_{X^n Y^n}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \Pr\{X^n = \mathbf{x} \text{ and } Y^n = \mathbf{y}\},$$
$$\mathbf{x} \in \mathcal{X}^n, \mathbf{y} \in \mathcal{Y}^n.$$

問題設定 (情報源)

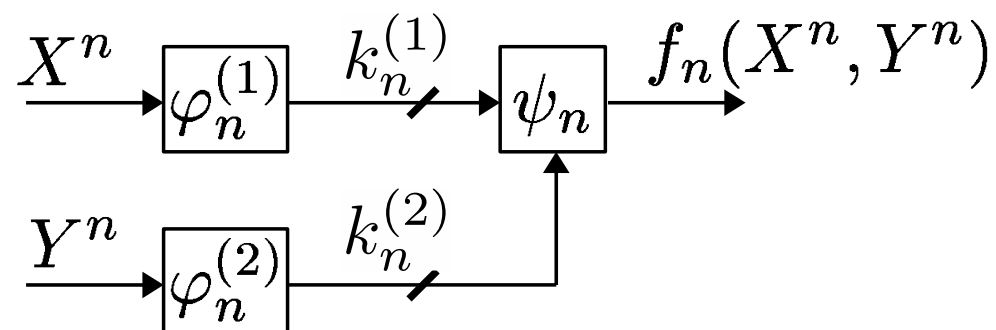


- 有限集合 $\mathcal{X}, \mathcal{Y}$
- $\mathcal{X}^n$ 上の確率変数 $X^n = (X_1, X_2, \dots, X_n)$
- $\mathcal{Y}^n$ 上の確率変数 $Y^n = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$
- X^n と Y^n の同時分布：

$$P_{X^n Y^n}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \Pr\{X^n = \mathbf{x} \text{ and } Y^n = \mathbf{y}\},$$
$$\mathbf{x} \in \mathcal{X}^n, \mathbf{y} \in \mathcal{Y}^n.$$

情報源 = 確率変数の組の列 $(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) \triangleq \{(X^n, Y^n)\}_{n=1}^{\infty}$

問題設定 (関数・符号)



- 関数の列 $f \triangleq \{f_n\}_{n=1}^{\infty}$ を考える. ただし

$$f_n: \mathcal{X}^n \times \mathcal{Y}^n \rightarrow \mathcal{Z}_n.$$

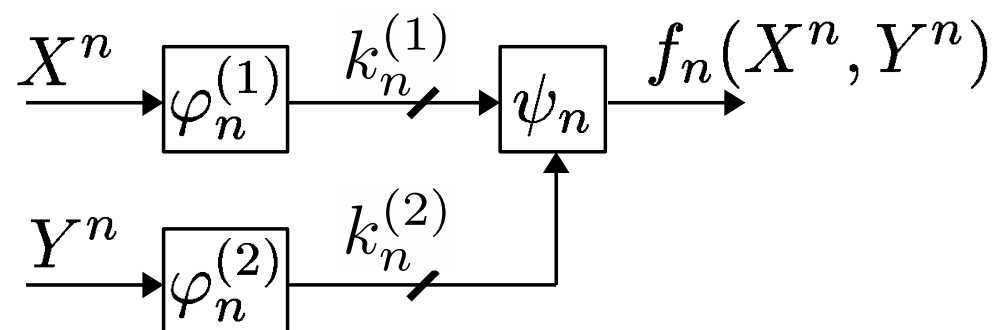
- 符号

$$\varphi_n^{(1)}: \mathcal{X}^n \rightarrow \{0, 1\}^{k_n^{(1)}}$$

$$\varphi_n^{(2)}: \mathcal{Y}^n \rightarrow \{0, 1\}^{k_n^{(2)}}$$

$$\psi_n: \{0, 1\}^{k_n^{(1)}} \times \{0, 1\}^{k_n^{(\textcolor{red}{2})}} \rightarrow \mathcal{Z}_n$$

達成可能領域



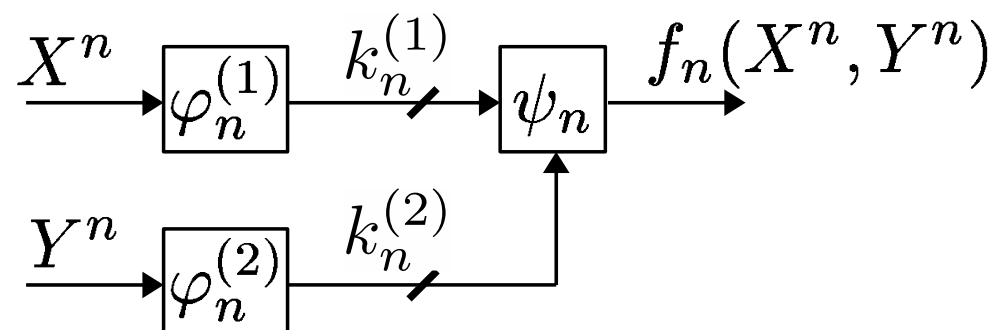
$$\lim_{n \rightarrow \infty} \Pr \left\{ f_n(X^n, Y^n) \neq \psi_n \left(\varphi_n^{(1)}(X^n), \varphi_n^{(2)}(Y^n) \right) \right\} = 0$$

を満たし、かつ、

$$\limsup_{n \rightarrow \infty} \frac{k_n^{(j)}}{n} \leq R_j, \quad j = 1, 2$$

となる符号が存在するとき、 (R_1, R_2) は達成可能という。

達成可能領域



$$\lim_{n \rightarrow \infty} \Pr \left\{ f_n(X^n, Y^n) \neq \psi_n \left(\varphi_n^{(1)}(X^n), \varphi_n^{(2)}(Y^n) \right) \right\} = 0$$

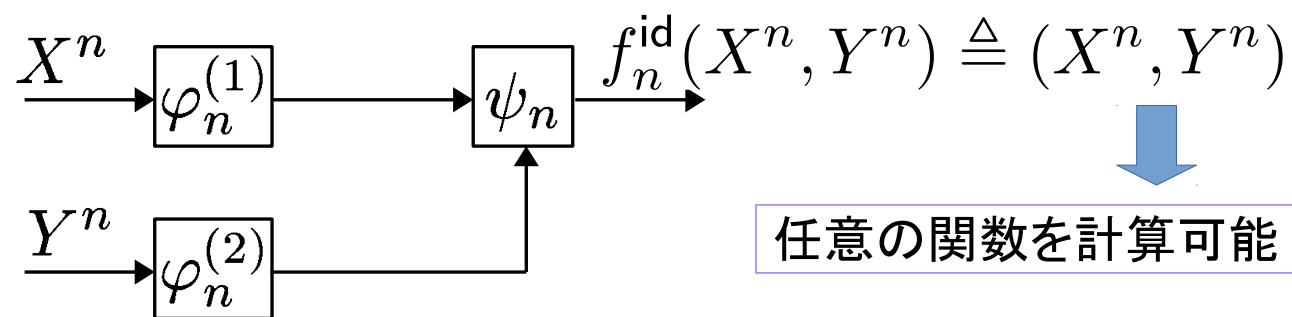
を満たし、かつ、

$$\limsup_{n \rightarrow \infty} \frac{k_n^{(j)}}{n} \leq R_j, \quad j = 1, 2$$

となる符号が存在するとき、 (R_1, R_2) は達成可能という。

達成可能領域 $\mathcal{R}(\mathbf{X}, \mathbf{Y} | \mathbf{f}) =$ 達成可能なレート対全体

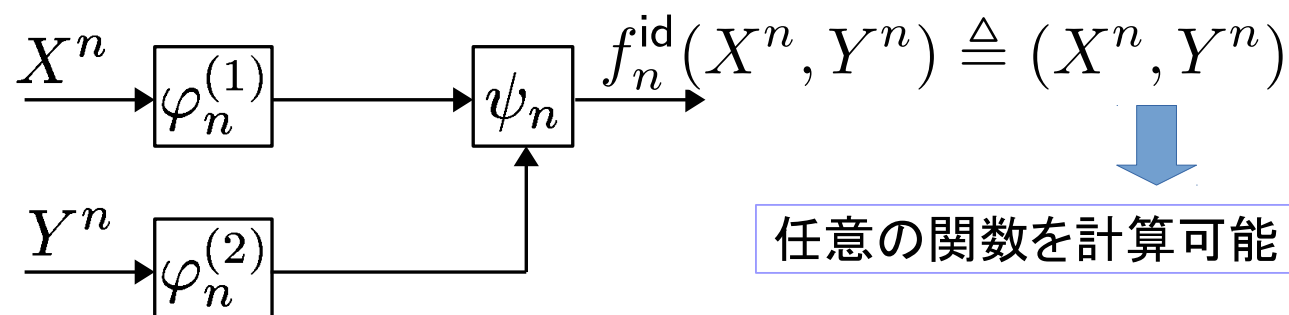
達成可能領域 vs SW 領域



- $f_n^{\text{id}}(x, y) \triangleq (x, y)$ の計算 $\rightarrow$ Slepian-Wolf 符号化
- Slepian-Wolf 領域

$$\mathcal{R}_{\text{SW}}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) \triangleq \mathcal{R}(\mathbf{X}, \mathbf{Y} | f^{\text{id}})$$

達成可能領域



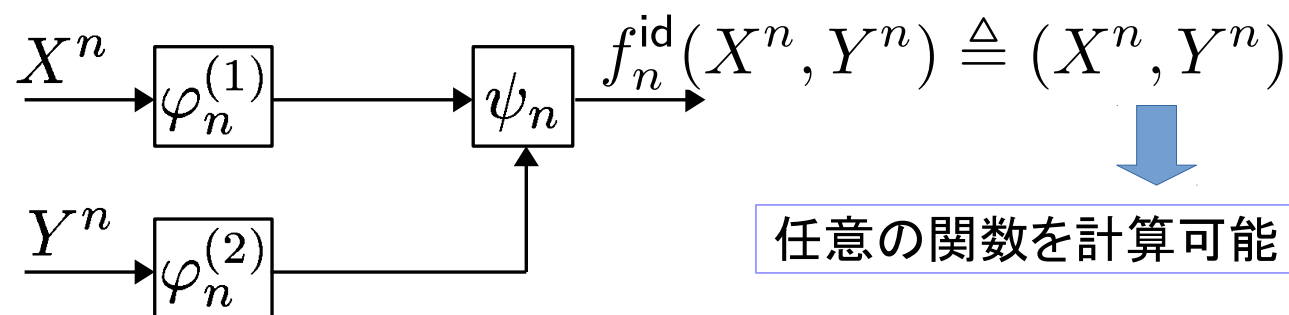
- $f_n^{\text{id}}(x, y) \triangleq (x, y)$ の計算 $\rightarrow$ Slepian-Wolf 符号化
- Slepian-Wolf 領域

$$\mathcal{R}_{\text{SW}}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) \triangleq \mathcal{R}(\mathbf{X}, \mathbf{Y} | f^{\text{id}})$$

- 明らかに

$$\mathcal{R}_{\text{SW}}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) \subseteq \mathcal{R}(\mathbf{X}, \mathbf{Y} | f)$$

達成可能領域



- $f_n^{\text{id}}(x, y) \triangleq (x, y)$ の計算 $\rightarrow$ Slepian-Wolf 符号化
- Slepian-Wolf 領域

$$\mathcal{R}_{\text{SW}}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) \triangleq \mathcal{R}(\mathbf{X}, \mathbf{Y} | f^{\text{id}})$$

- 明らかに

$$\mathcal{R}_{\text{SW}}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) \subseteq \mathcal{R}(\mathbf{X}, \mathbf{Y} | f)$$

等号成立条件？

導入

特別な場合

定常無記憶情報源

$$P_{X^n Y^n}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \prod_{i=1}^n P_{XY}(x_i, y_i)$$

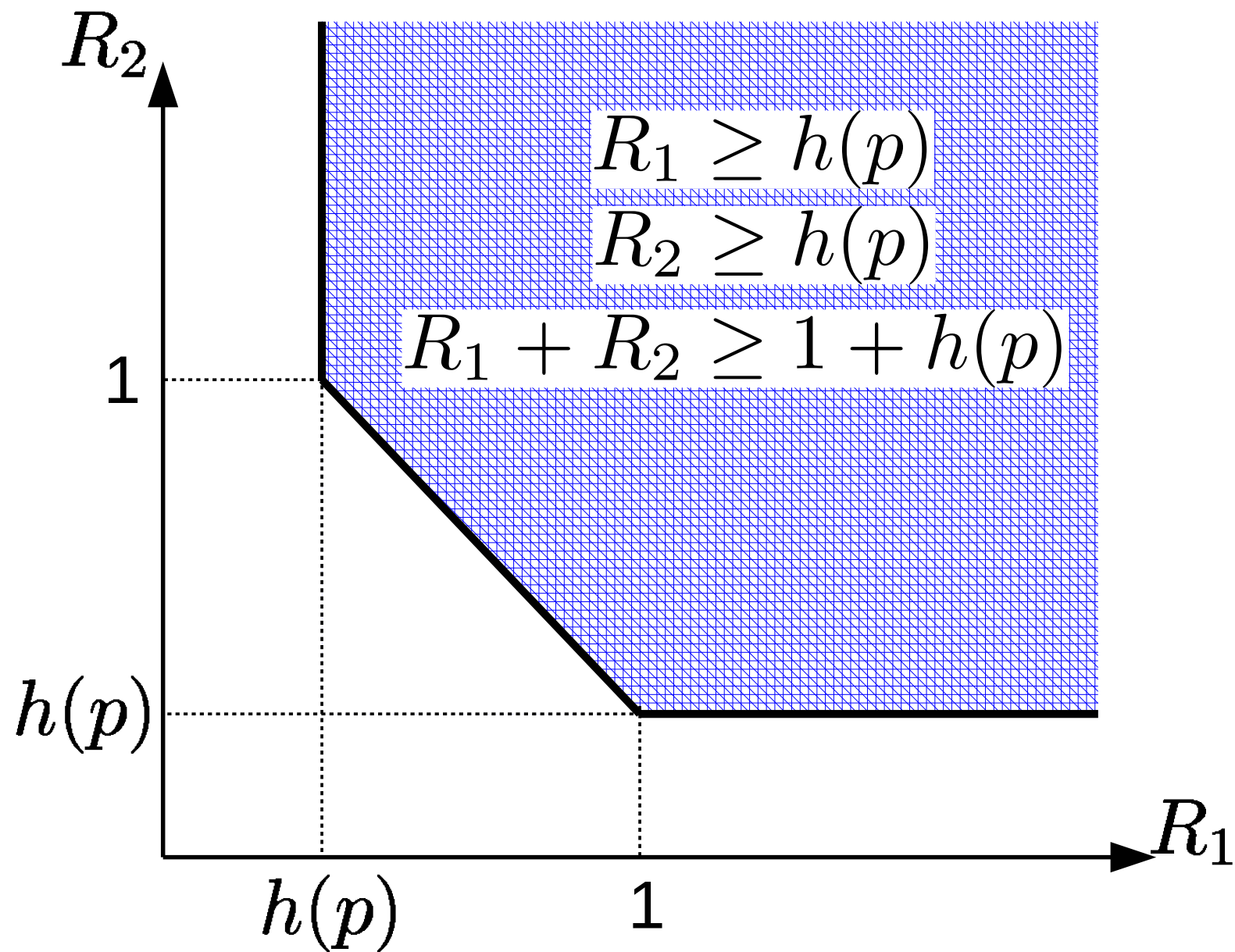
シンボルワイズ関数

$$f_n(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = (f(x_1, y_1), f(x_2, y_2), \dots, f(x_n, y_n))$$

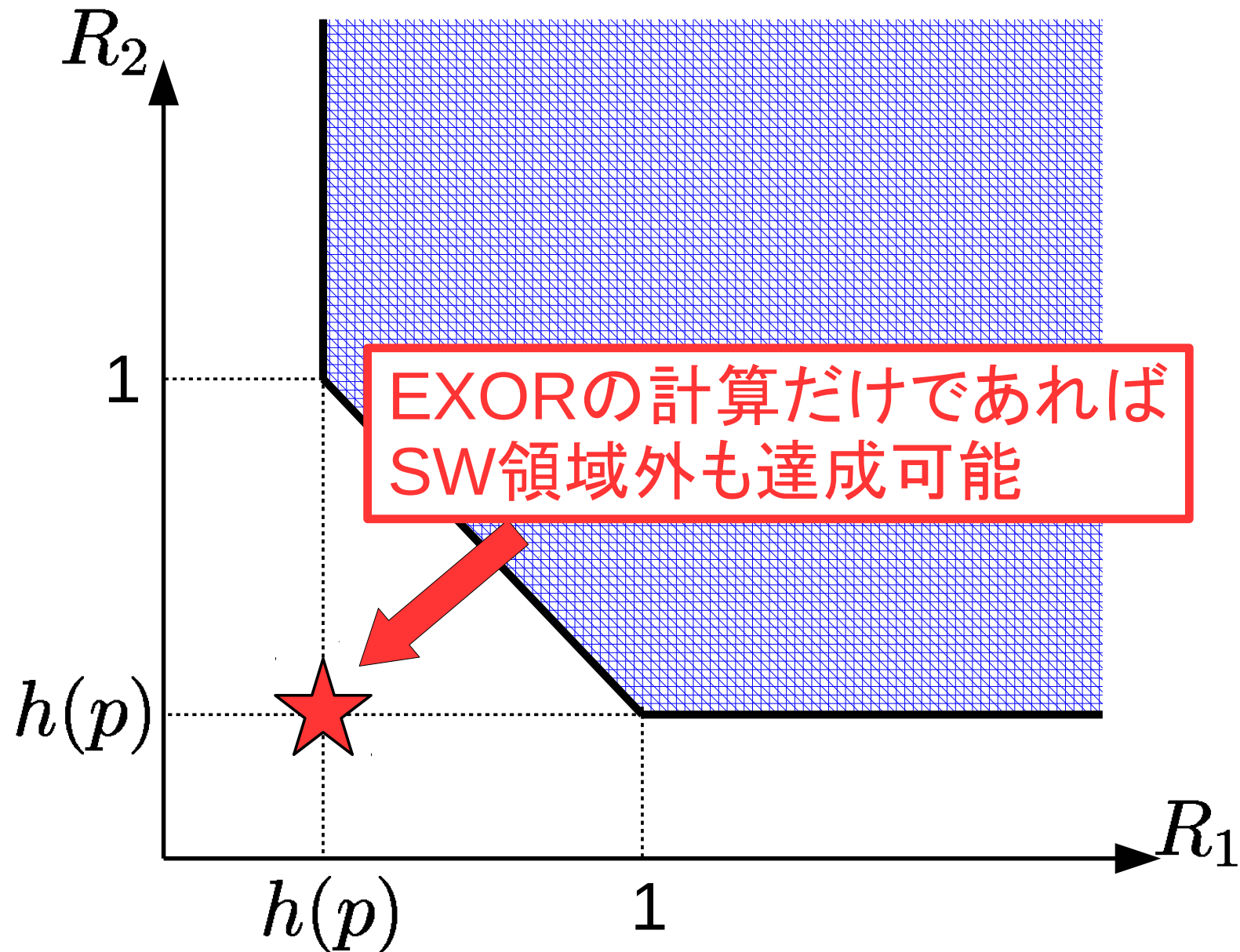
P_{XY}	0	1
0	$\frac{1-p}{2}$	$\frac{p}{2}$
1	$\frac{p}{2}$	$\frac{1-p}{2}$

$\oplus$	0	1
0	0	1
1	1	0

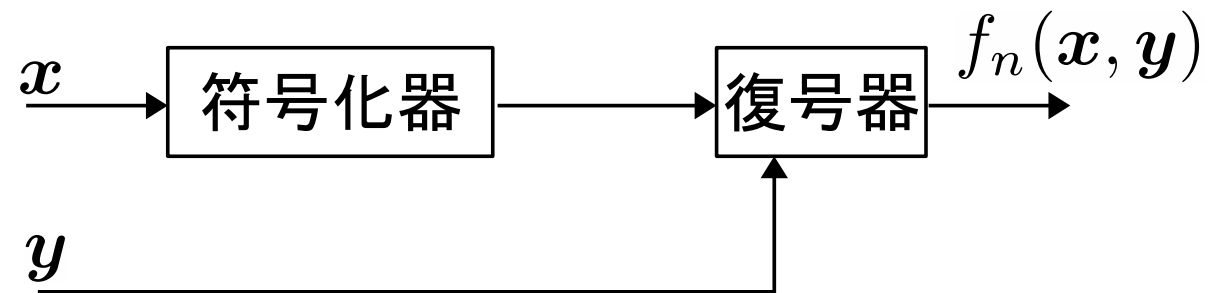
SW 領域



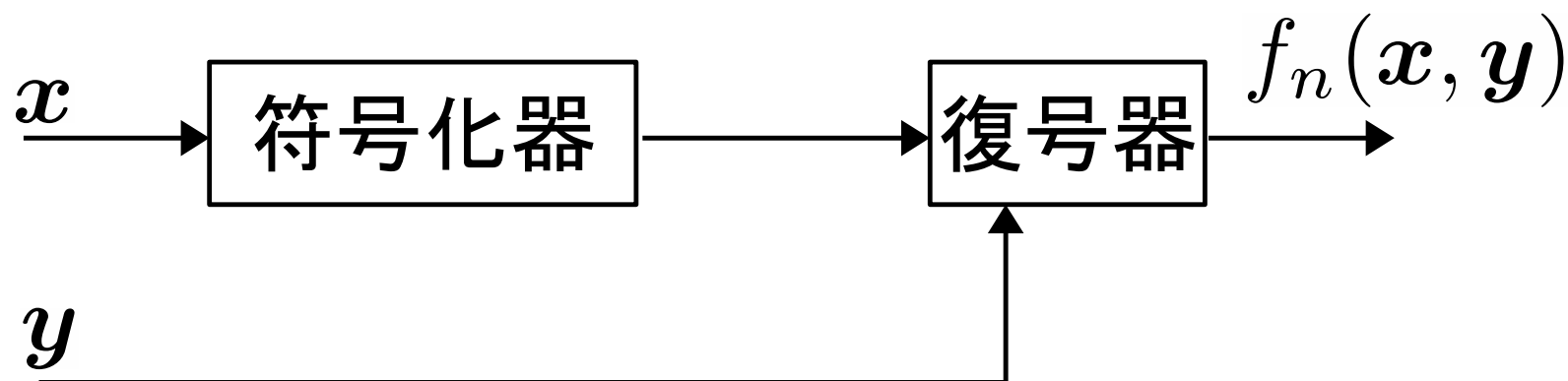
Körner & Marton の符号化



復号器補助情報がある場合



復号器補助情報がある場合



$$R(\mathbf{X}|\mathbf{Y}|\mathbf{f}) \triangleq \inf \{R_1 : (R_1, \log_2 |\mathcal{Y}|) \in \mathcal{R}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}|\mathbf{f})\}$$

$$R_{\text{SW}}(\mathbf{X}|\mathbf{Y}) \triangleq \inf \{R_1 : (R_1, \log_2 |\mathcal{Y}|) \in \mathcal{R}_{\text{SW}}(\mathbf{X}, \mathbf{Y})\}$$

に着目.

$$R(\mathbf{X}|\mathbf{Y}|\mathbf{f}) \leq R_{\text{SW}}(\mathbf{X}|\mathbf{Y})$$

の等号成立条件？

シンボルワイズ関数の場合

$x \setminus y$	b_1	b_2	b_3
a_1	0	1	2
a_2	0	1	2
a_3	3	4	5

$$f_n(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y}) = (f(x_1, y_1), f(x_2, y_2), \dots, f(x_n, y_n))$$

シンボルワイズ関数の場合

$x \setminus y$	b_1	b_2	b_3
a_1	0	1	2
a_2	0	1	2
a_3	3	4	5

← a_1 と a_2 は縮約可能

$$f_n(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = (f(x_1, y_1), f(x_2, y_2), \dots, f(x_n, y_n))$$

- f の表で同じ行があれば明らかにレートは改善できる.
- 実は, (情報源がある条件を満たせば) 逆も成り立つ.

シンボルワイズ関数の場合

$x \setminus y$	b_1	b_2	b_3
a_1	0	1	2
a_2	0	1	6
a_3	3	4	5

この2行は
異なるが...

$$f_n(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = (f(x_1, y_1), f(x_2, y_2), \dots, f(x_n, y_n))$$

- f の表で同じ行があれば明らかにレートは改善できる.
- 実は, (情報源がある条件を満たせば) 逆も成り立つ.
- ポイント : $P_{XY}(a_2, b_3) = 0$ だと縮約できてしまう!

定理

情報源が定常無記憶で、**正值条件**

$$P_{XY}(x, y) > 0, \quad \forall (x, y) \in \mathcal{X} \times \mathcal{Y}$$

を満たすとする.

シンボルワイズ関数の計算で

$$R(\mathbf{X}|\mathbf{Y}|f) = R_{\text{SW}}(\mathbf{X}|\mathbf{Y})$$

となる必要十分条件は f の各行が相異なること.

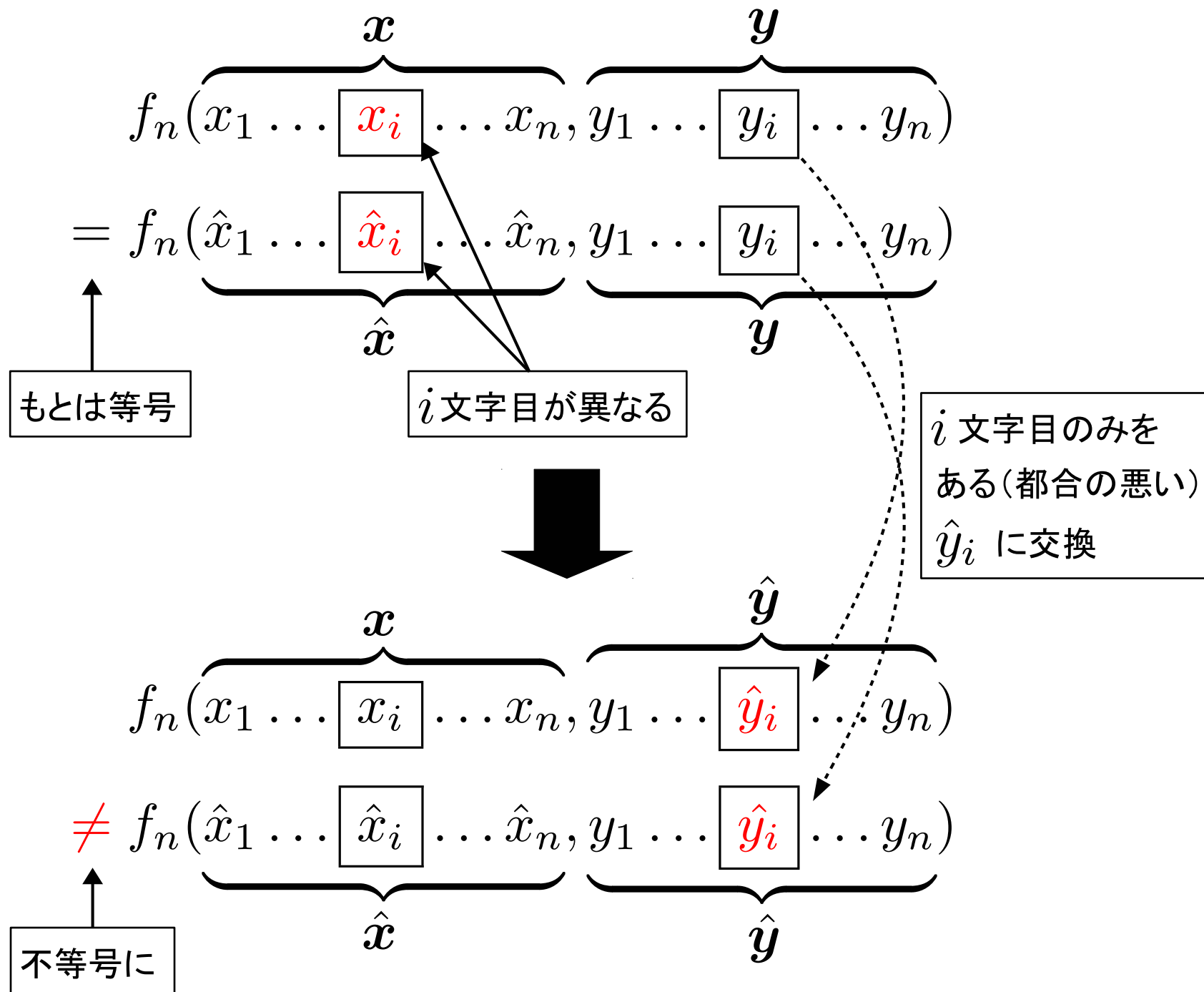
シンボルワイズ関数を超えて…

定義

関数 f_n が以下の「条件」を満たすとき、 f_n は $\mathcal{Y}^n$ 側を条件にしたときにセンシティブ (sensitive conditioned on $\mathcal{Y}^n$) であるという：

$x, \hat{x} \in \mathcal{X}^n$ および $y \in \mathcal{Y}^n$ が $f_n(x, y) = f_n(\hat{x}, y)$ を満たし、かつ、あるインデックス i に対して $x_i \neq \hat{x}_i$ とする。

すると、 y の第 i 成分 y_i とは異なるシンボル $\hat{y}_i \neq y_i$ が存在し、 y の第 i 成分のみを $\hat{y}_i$ に交換した $\hat{y}$ が $f_n(x, \hat{y}) \neq f_n(\hat{x}, \hat{y})$ を満たす。



定理 (Ahlswede & Csiszár)

情報源が定常無記憶で，正值条件

$$P_{XY}(x, y) > 0, \quad \forall (x, y) \in \mathcal{X} \times \mathcal{Y}$$

を満たすとする．

任意の n で f_n が $\mathcal{Y}^n$ 側を条件にしたときにセンシティブであるならば，

$$R(\mathbf{X}|\mathbf{Y}|\mathbf{f}) = R_{\text{SW}}(\mathbf{X}|\mathbf{Y})$$

が成り立つ．

※ 十分条件のみ与えられていることに注意．

情報源が記憶を持つと…

定義

n に依存しない定数 q ($0 < q < 1$) が存在して, 任意の $\mathbf{x} \in \mathcal{X}^n$ 及び $d(\mathbf{y}, \hat{\mathbf{y}}) = 1$ を満たす任意の $\mathbf{y}, \hat{\mathbf{y}} \in \mathcal{Y}^n$ に対して

$$P_{X^n Y^n}(\mathbf{x}, \hat{\mathbf{y}}) \geq q P_{X^n Y^n}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$$

が成り立つとき, 情報源 (X, Y) は **Y に関してスムーズ** (smooth with respect to Y) であるという.

- $d(\mathbf{y}, \hat{\mathbf{y}}) \triangleq |\{i : y_i \neq \hat{y}_i\}|$ はハミング距離.
- 「 X に関してスムーズ」も同様に定義できる.
- (X, Y) が X と Y いずれに関してもスムーズであるとき, 単に「 (X, Y) はスムーズ」という.

情報源が記憶を持つと…

定義

n に依存しない定数 q ($0 < q < 1$) が存在して, 任意の $\mathbf{x} \in \mathcal{X}^n$ 及び $d(\mathbf{y}, \hat{\mathbf{y}}) = 1$ を満たす任意の $\mathbf{y}, \hat{\mathbf{y}} \in \mathcal{Y}^n$ に対して

$$P_{X^n Y^n}(\mathbf{x}, \hat{\mathbf{y}}) \geq q P_{X^n Y^n}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$$

が成り立つとき, 情報源 (X, Y) は **Y に関してスムーズ** (smooth with respect to Y) であるという.

命題

定常無記憶情報源情報源 (X, Y) がスムーズ



P_{XY} が正值条件を満たす.

定理 (K & Watanabe)

情報源 (X, Y) が Y に関してスムーズであるとする.

任意の n で f_n が $\mathcal{Y}^n$ 側を条件にしたときにセンシティブであるならば,

$$R(X|Y|f) = R_{\text{SW}}(X|Y)$$

が成り立つ.

例

$\mathcal{X} = \mathcal{Y}$ かつ $|\mathcal{X}| \geq 3$ であるとき

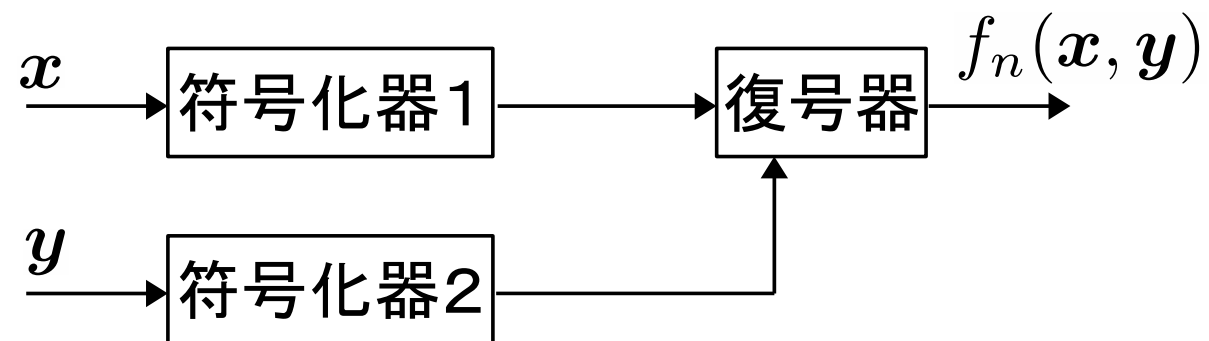
$$f_n(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y}) \triangleq \begin{cases} 0 & : d(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y}) \text{ が偶数} \\ 1 & : d(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y}) \text{ が奇数} \end{cases}$$

は $\mathcal{Y}^n$ 側を条件にしたときにセンシティブである。
よってスムーズな情報源に対して

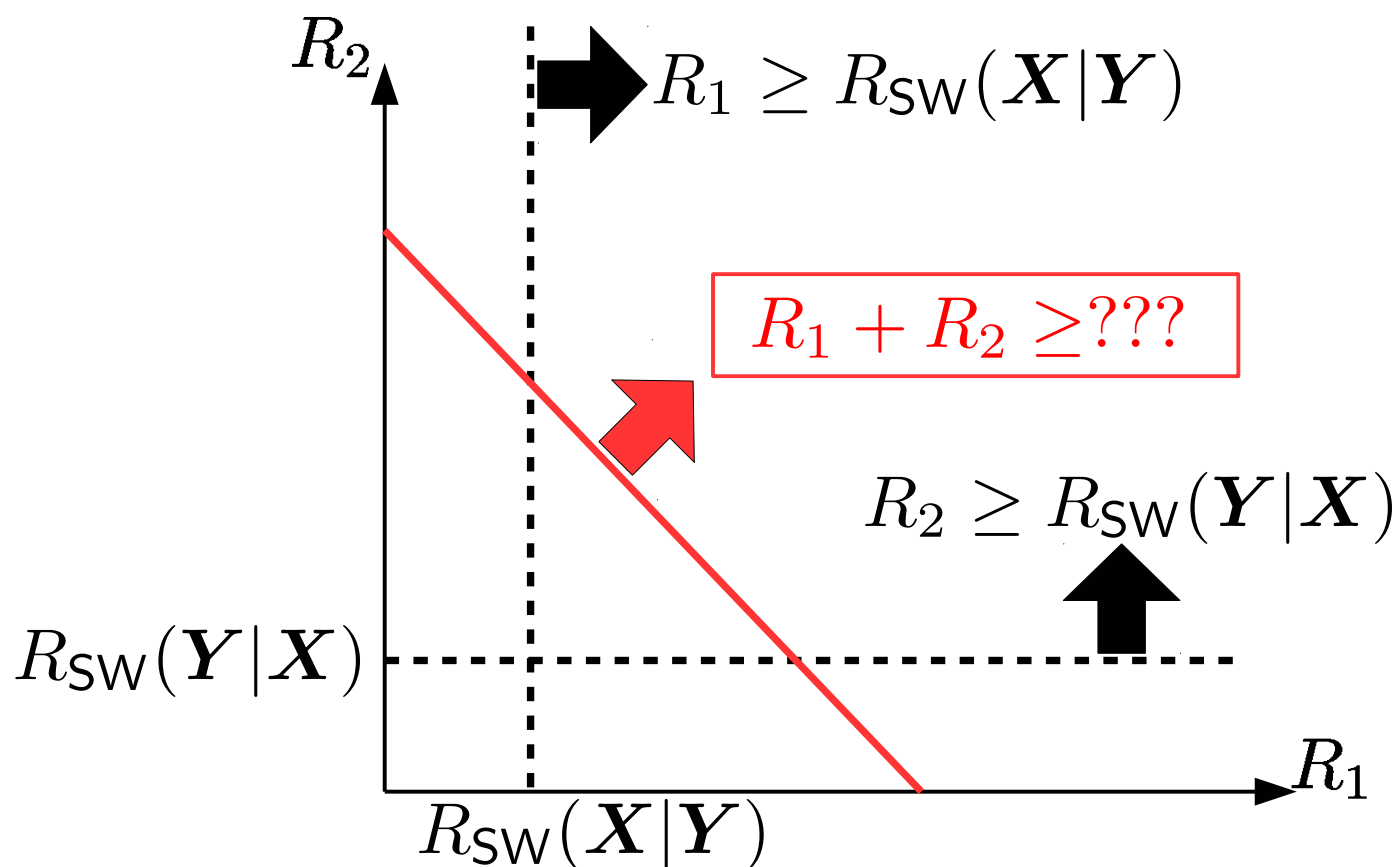
$$R(\boldsymbol{X}|\boldsymbol{Y}|\boldsymbol{f}) = R_{\text{SW}}(\boldsymbol{X}|\boldsymbol{Y})$$

To get a bit of information may be
as hard as to get full information!

二つの符号化器による符号化



達成可能領域の外界と「レート之和」



- ・ (X, Y) がスムーズ
- ・ f が $\mathcal{X}^n$ 側と $\mathcal{Y}^n$ 側のどちらが条件のときにもセンシティブ

レートを抑えるために…

定義

下記3条件を満たすシンボルワイズ関数を
Han-Kobayashi関数と呼ぶ.

- (1) f の各行が相異なる.
- (2) f の各列が相異なる.
- (3) $a_1 \neq a_2$ かつ $b_1 \neq b_2$ ならば, $f(a_1, b_1) \neq f(a_2, b_2)$.

HK 関数

条件 (1) と (2) は復号器補助情報がある場合のレートが改善しないための必要十分条件だった.

(3) $a_1 \neq a_2$ かつ $b_1 \neq b_2$ ならば, $f(a_1, b_1) \neq f(a_2, b_2)$ は,

$x \setminus y$	$\dots$	b_1	$\dots$	b_2	$\dots$
$\vdots$	$\ddots$				
a_1		v_{11}	$\dots$	v_{12}	
$\vdots$		$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	
a_2		v_{21}	$\dots$	v_{22}	
$\vdots$					$\ddots$

行と列を適当に入れ替えて，関数値が同じ個所★を

$x \setminus y$	b_0	b_1	b_2	$\cdots$	$b_{ y -1}$
a_0		★			
a_1					
a_2			$\ddots$		
$\vdots$				$\ddots$	
$a_{ x -1}$	★				$\ddots$

とできる．

一方, 各シンボルを適切に数値に置き換え,
 $x + y$ を考えると...

$x \setminus y$	0	$ \mathcal{X} - 1$	$2(\mathcal{X} - 1)$	$\cdots$	$(\mathcal{Y} - 1)(\mathcal{X} - 1)$
0	0	$ \mathcal{X} - 1$			
1	1	$ \mathcal{X} $			
2	2	$ \mathcal{X} + 1$	$\ddots$		
$\vdots$	$\vdots$			$\ddots$	$\vdots$
$ \mathcal{X} - 1$	$ \mathcal{X} - 1$				$(\mathcal{Y} - 1) \mathcal{X} $

一方, 各シンボルを適切に数値に置き換え,
 $x + y$ を考えると...

$x \setminus y$	0	$ \mathcal{X} - 1$	$2(\mathcal{X} - 1)$	$\cdots$	$(\mathcal{Y} - 1)(\mathcal{X} - 1)$
0	0	$ \mathcal{X} - 1$			
1	1	$ \mathcal{X} $			
2	2	$ \mathcal{X} + 1$	$\ddots$		
$\vdots$	$\vdots$			$\ddots$	$\vdots$
$ \mathcal{X} - 1$	$ \mathcal{X} - 1$				$(\mathcal{Y} - 1) \mathcal{X} $

$x + y$ から (★の箇所以外の) 組 (x, y) が一意に復元できる

一方, 各シンボルを適切に数値に置き換え,
 $x + y$ を考えると...

$x \setminus y$	0	$ \mathcal{X} - 1$	$2(\mathcal{X} - 1)$	$\cdots$	$(\mathcal{Y} - 1)(\mathcal{X} - 1)$
0	0	$ \mathcal{X} - 1$			
1	1	$ \mathcal{X} $			
2	2	$ \mathcal{X} + 1$	$\ddots$		
$\vdots$	$\vdots$			$\ddots$	$\vdots$
$ \mathcal{X} - 1$	$ \mathcal{X} - 1$				$(\mathcal{Y} - 1) \mathcal{X} $

$x + y$ から (★の箇所以外の) 組 (x, y) が一意に復元できる
 $\rightarrow x + y$ さえ計算できれば $f(x, y)$ も計算可能

一方，各シンボルを適切に数値に置き換え，
 $x + y$ を考えると…

$x \setminus y$	0	$ \mathcal{X} - 1$	$2(\mathcal{X} - 1)$	$\cdots$	$(\mathcal{Y} - 1)(\mathcal{X} - 1)$
0	0	$ \mathcal{X} - 1$			
1	1	$ \mathcal{X} $			
2	2	$ \mathcal{X} + 1$	$\ddots$		
$\vdots$	$\vdots$			$\ddots$	$\vdots$
$ \mathcal{X} - 1$	$ \mathcal{X} - 1$				$(\mathcal{Y} - 1) \mathcal{X} $

$x + y$ から (★の箇所以外の) 組 (x, y) が一意に復元できる

→ $x + y$ さえ計算できれば $f(x, y)$ も計算可能

→ Körner & Marton の EXOR 計算法でレート改善可能！

定理 (Han & Kobayashi)

シンボルワイズ関数 f の計算を考える.

f が HK 関数であるとき, かつそのときに限り,
正值条件を満たす任意の定常無記憶情報源 $(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$ に対して

$$\mathcal{R}(\mathbf{X}, \mathbf{Y} | f) = \mathcal{R}_{\text{SW}}(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$$

が成り立つ.

考察

シンボルワイズ関数

$$\hat{f}(a, b) = \begin{cases} 0 & : a = b \\ 1 & : a \neq b \end{cases}$$

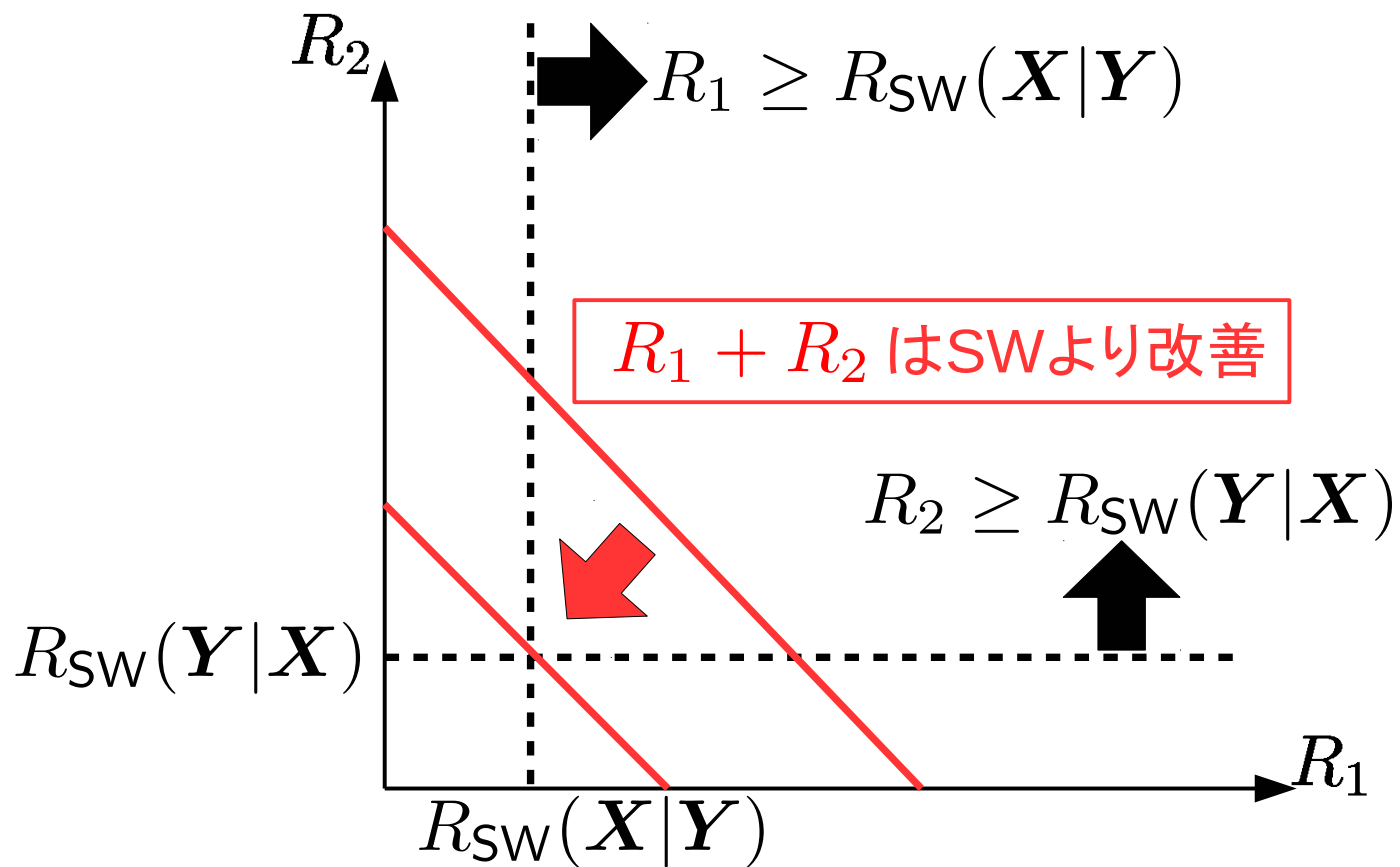
はHK関数ではない.

一方, $\hat{f}$ が計算できればハミング距離 $d(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y})$ が求まるので

$$f_n(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y}) \triangleq \begin{cases} 0 & : d(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y}) \text{ が偶数} \\ 1 & : d(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y}) \text{ が奇数} \end{cases}$$

も求まる. よって

達成可能領域 $\mathcal{R}(\boldsymbol{X}, \boldsymbol{Y} | \boldsymbol{f})$ は $\mathcal{R}_{\text{SW}}(\boldsymbol{X}, \boldsymbol{Y})$ より真に広くなる



$$f_n(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \triangleq \begin{cases} 0 & : d(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \text{ が偶数} \\ 1 & : d(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \text{ が奇数} \end{cases}$$

対象を広げるために…

定義

- $\mathcal{X}^n$ 側と $\mathcal{Y}^n$ 側のどちらが条件のときにもセンシティブかつ
 - $x \neq \hat{x}$ かつ $y \neq \hat{y}$ である任意の (x, y) と $(\hat{x}, \hat{y})$ に対して
$$f_n(x, y) \neq f_n(\hat{x}, \hat{y})$$
- であるとき
- f_n は全センシティブ (totally sensitive) であるという.

Remark

- $x \neq \hat{x}$ かつ $y \neq \hat{y}$ である任意の (x, y) と $(\hat{x}, \hat{y})$ に対して
 $f_n(x, y) \neq f_n(\hat{x}, \hat{y})$

はもう少し緩められる：

$f_n(x_1, y_1) = f_n(x_2, y_2) = \cdots = f_n(x_J, y_J)$ となる
(ただし $i \neq j$ なら $x_i \neq x_j$ かつ $y_i \neq y_j$)
ようにとれる対 (x_i, y_i) の数の最大値 J が

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \log J = 0$$

なら OK.

定理 (K & Watanabe)

情報源 (X, Y) がスムーズであるとする.

任意の n で f_n が全センシティブであるならば,

$$\mathcal{R}(X, Y|f) = \mathcal{R}_{\text{SW}}(X, Y)$$

が成り立つ.

※ 十分条件のみ与えられていることに注意.

定理 (K & Watanabe)

シンボルワイズ関数 f の計算を考える.

f が全センシティブであるとき, かつそのときに限り,
任意のスームスな情報源 (X, Y) に対して

$$\mathcal{R}(X, Y | f) = \mathcal{R}_{\text{SW}}(X, Y)$$

が成り立つ.

HK vs KW

シンボルワイズ関数 f が全センシティブになる必要十分条件は、 f が HK 関数でありかつ以下の条件のうち少なくとも1つを満たすことである。

1. すべての $a \in \mathcal{X}$ に対して、 $b \neq \hat{b}$ なら $f(a, b) \neq f(a, \hat{b})$
2. すべての $b \in \mathcal{Y}$ に対して、 $a \neq \hat{a}$ なら $f(a, b) \neq f(\hat{a}, b)$

		NG		
$x \setminus y$		0	1	2
0		0	1	2
1		0	3	3

		1) holds		
$x \setminus y$		0	1	2
0		0	1	2
1		0	3	4

		2) holds		
$x \setminus y$		0	1	2
0		0	1	2
1		3	3	3

HK vs KW

Han & Kobayashi

$$\mathcal{R}(\mathbf{X}, \mathbf{Y} | f) = \mathcal{R}_{\text{SW}}(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$$

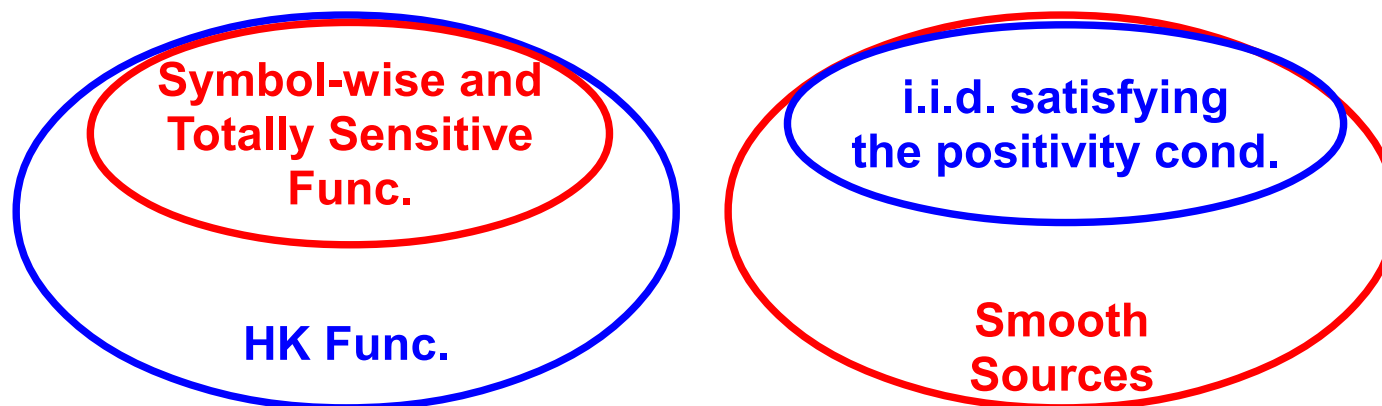
for all i.i.d. $(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$ satisfying the positivity condition

$\Leftrightarrow f$ is a HK function.

S & Watanabe

$$\mathcal{R}(\mathbf{X}, \mathbf{Y} | f) = \mathcal{R}_{\text{SW}}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) \quad \forall \text{smooth } (\mathbf{X}, \mathbf{Y})$$

$\Leftrightarrow f$ is totally sensitive.



HK関数だけではダメな理由

$x \setminus y$	0	1	2
0	0	1	2
1	0	3	3

を2次拡大すると,

$x_1 x_2 \setminus y_1 y_2$	00	01	02	10	11	12	20	21	22
00	00	01	02	10	11	12	20	21	22
01	00	03	03	10	13	13	20	23	23
10	00	01	02	30	31	32	30	31	32
11	00	03	03	30	33	33	30	33	33

有限状態情報源（＝2次拡大したアルファベットで考えると定常無記憶情報源）でNGなものがある．

まとめ

Ahlsweide & Csiszár と Han & Kobayashi の結果, および,
それらを拡張した K & Watanabe の最近の結果を中心に

(計算だけでデータ全体を復元する必要はないのに)
通信レートを改善できない条件

を考察してきた.

まとめ

Ahlsvede & Csiszár と Han & Kobayashi の結果, および,
それらを拡張した K & Watanabe の最近の結果を中心に

(計算だけでデータ全体を復元する必要はないのに)
通信レートを改善できない条件

を考察してきた.

とはいえ, 実用上の観点からも, 理論的な興味からも,

改善できる場合にどれだけ改善できるか?

が重要. これは今後の課題.

まとめ

Ahlsweide & Csiszár と Han & Kobayashi の結果, および,
それらを拡張した K & Watanabe の最近の結果を中心に

(計算だけでデータ全体を復元する必要はないのに)
通信レートを改善できない条件

を考察してきた.

とはいえ, 実用上の観点からも, 理論的な興味からも,

改善できる場合にどれだけ改善できるか?

が重要. これは今後の課題.

- [21] S. Kuzuoka and S. Watanabe, “On Distributed Computing for Functions with Certain Structures,” arXiv:1602.08204

ご清聴ありがとうございました。