

2016年度 通信理論

第1回

通信システム概観:  
通信伝送のモデルと具体例

2016. 4. 7

植之原 裕行 uenohara.h.aa@m.titech.ac.jp

# 講義の概要

- 目的:

情報通信のための情報の符号化・圧縮や、通信路の容量・符号化、いろいろな誤り訂正符号、および暗号の基礎理論について理解する.

- 教科書:

通信理論入門, 坂庭好一, 笠井健太, コロナ社, 2014

- 参考図書:

イラストで学ぶ情報理論の考え方, 植松友彦, 講談社, 2012

## 講義スケジュール(前半)

|     | 日付   | 教科書           | 内容                                  |
|-----|------|---------------|-------------------------------------|
| 第1回 | 4/7  | 第1章・第2章       | 通信システム概論:<br>通信伝送のモデルと具体例           |
| 第2回 | 4/11 | 第3章           | 情報源符号化<br>(情報量, エントロピー, 情報源符号化定理)   |
| 第3回 | 4/14 | 第4章2節         | データ圧縮<br>(情報源符号化, 語頭符号, ハフマン符号)     |
| 第4回 | 4/18 | 第4章3節～4節      | データ圧縮(イライアス符号)                      |
| 第5回 | 4/21 | 第4章5節～6節      | データ圧縮(ZL符号, ランレンジス符号)               |
| 第6回 | 4/25 | 第5章           | 通信路容量<br>(通信路の確率モデル, 相互情報量, 通信路容量)  |
| 第7回 | 4/28 | 第6章1節～2節      | 通信路符号化<br>(通信路符号化, 通信路符号化定理, 繰返し符号) |
| 第8回 | 5/2  | 第1章～<br>第6章2節 | 通信理論に関する演習                          |

## 講義スケジュール(後半)

|      | 日付   | 教科書      | 内容                   |
|------|------|----------|----------------------|
| 第9回  | 5/ 9 | 第6章3、4節  | 誤り訂正符号(線形ブロック符号)     |
| 第10回 | 5/12 | 第6章5節    | 誤り訂正符号(巡回符号, 畳み込み符号) |
| 第11回 | 5/16 | 第6章6節    | 誤り訂正符号(LDPC符号)       |
| 第12回 | 5/19 | 第7章      | 連続情報と連続通信路           |
| 第13回 | 5/23 | 第8章1節～2節 | 暗号の基礎理論              |
| 第14回 | 5/26 | 第8章3節～7節 | 暗号の例(共通鍵暗号、ハッシュ関数)   |
| 第15回 | 5/30 | 第8章3節～7節 | 暗号の例(公開鍵暗号)          |
|      | 6/ 2 |          | 期末試験(予定)             |

# デジタル通信システム

メッセージ信号

情報源

受信者

情報源  
符号化器

情報源  
復号化器

通信路  
符号(化)器

通信路  
復号(化)器

変調器

復調器

伝送

通信路

データ圧縮

送信器

受信器

冗長性  
(誤り訂正)

デジタル  
変調

# 情報源とデータ圧縮(1)

## ● 情報源

テキスト、音声、画像、映像、データ

情報の大きさ(情報量)とは？



びっくりの度合い: **エントロピー**

**二者択一の情報を情報量の単位とする: Binary Digit = Bit**

(例) コイントス(表か裏かの二者択一): 1ビット

8個のコインを特定する(半分ずつ分けると二者択一を3回繰り返して特定できる):  $\log_2 8 = 3$ ビット

## 情報源とデータ圧縮(2)

情報量の扱いを一般的に扱ってみる

$2^m$ 個の物を特定する(半分ずつ分けると二者択一を $m$ 回繰り返して特定できる):  $\log_2 2^m = m$ ビット

➡  $2^m$ 個の物のうち、特定の物を得る確率  $= 1/2^m$   
 $-\log_2 (1/2^m) = m$ ビット

### 情報量の定義

確率 $p$ の事象が実際に生起したことを知らせる情報に含まれている情報量を  $-\log_2 p$  ビット と定義する。

### 平均情報量(エントロピー)

$$H(\zeta) = \sum_{k=0}^{K-1} p_k \log_2 \left( \frac{1}{p_k} \right) \text{ 単位: [bit]}$$

## 情報源とデータ圧縮(3)

### ● データ圧縮

- ・情報は情報量に応じて圧縮可能(符号化)
- ・文字列の平均的長さの下限はエントロピーで与えられる。

(例) 動画像の動きの少ない部分の情報を間引く  
音声の可聴周波数範囲以外の成分を除去

MPEG, JPEG, etc.

送信器・通信路・受信器の扱える情報量の範囲内で  
目的の情報を送れるようにするための工夫

# 通信路と通信のリソース

## ● 通信路

- ・無線： 空間（空気の振動、電磁波）
- ・有線： ツイストペア、電話線、同軸ケーブル、光ファイバ

## ● 通信のリソース

### エネルギーと周波数

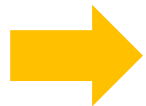
- ・送信のエネルギー（声の大きさ、光のパワー）を大きくすると、遠くまで届く  
ただし、声量・光源の出力には限界あり

➡ 信号の速度を遅くする・繰り返し送る（冗長度を上げる）

誤り訂正

# 通信路の特性

- 損失：距離とともに増大
- 周波数選択性（依存性）：伝送媒体の信号帯域内での性能差をもたらす
- 時間変化：移動体、フェージングなど
- 非線形性：増幅度の飽和状態、光ファイバの屈折率
- 雑音：受信器内の電子のランダムな動き起因、熱的変動



通信路の状況に応じた変調手段の選択の必要性

# 伝達情報量と通信路容量

伝送によって伝えられる情報量

送信器



受信器

シンボル  $x_j$

$y_k$

情報量  $-\log_2 p(x_j)$

$-\log_2 p(x_j|y_k)$

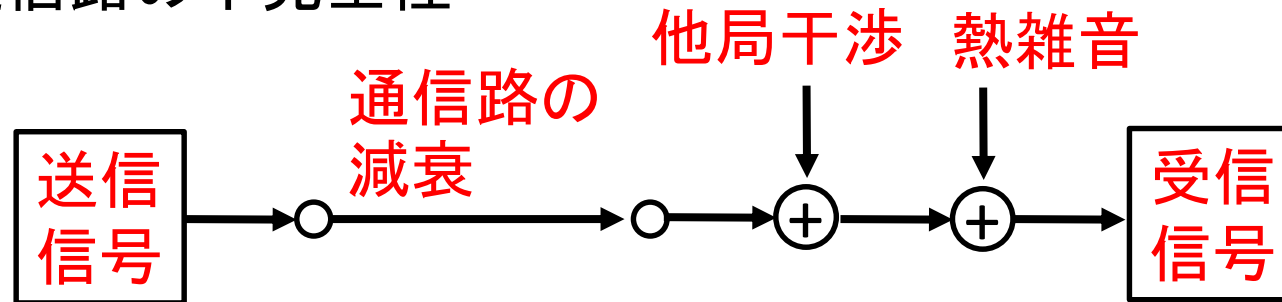
伝達情報量  $I(x_j; y_k) = -\log_2 p(x_j) - [-\log_2 p(x_j|y_k)] = \log_2 \frac{p(x_j|y_k)}{p(x_j)}$

平均伝達情報量  $I(X; Y) = \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{k=0}^{K-1} p(x_j, y_k) \log_2 \frac{p(x_j|y_k)}{p(x_j)}$

通信路容量  $C = \max_{p(x_j)} I(x; y)$

# 通信路の不完全性と通信路容量

## ● 通信路の不完全性



## ● 通信路容量

エラーフリーで通信できる最大の情報伝送レート

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{P_s g_h}{P_n} \right) \quad [\text{bps/Hz}]$$

受信SNR

$B$ : 周波数帯域幅

$P_s$ : 送信電力

$P_n$ : 雑音電力

$g_h$ : 通信路の利得

# まとめ

通信 = 情報を複数のプロセスを経て伝送すること

1. 情報源からデータ圧縮を介してメッセージ信号を生成
2. メッセージ信号を通信路媒体に適した送信信号に変換(変調)
3. 送信信号を通信路を介して受信側に伝送
4. 受信信号よりメッセージ信号を復調

通信路容量以下の情報量のメッセージはエラーフリーで通信可能