

# デジタル無線通信

## ~アクセス制御編~

九州大学大学院 システム情報科学研究院

石田 繁巳 <ishida@f.ait.kyushu-u.ac.jp>

2014/06/19



九州大学  
KYUSHU UNIVERSITY

# アウトライン

---

- この講義の目的
- 通信の衝突とアクセス制御
- MACプロトコル
  - 時間軸
  - 周波数軸
  - 符号軸
- 多元接続と多重化

# この講義の目的

---

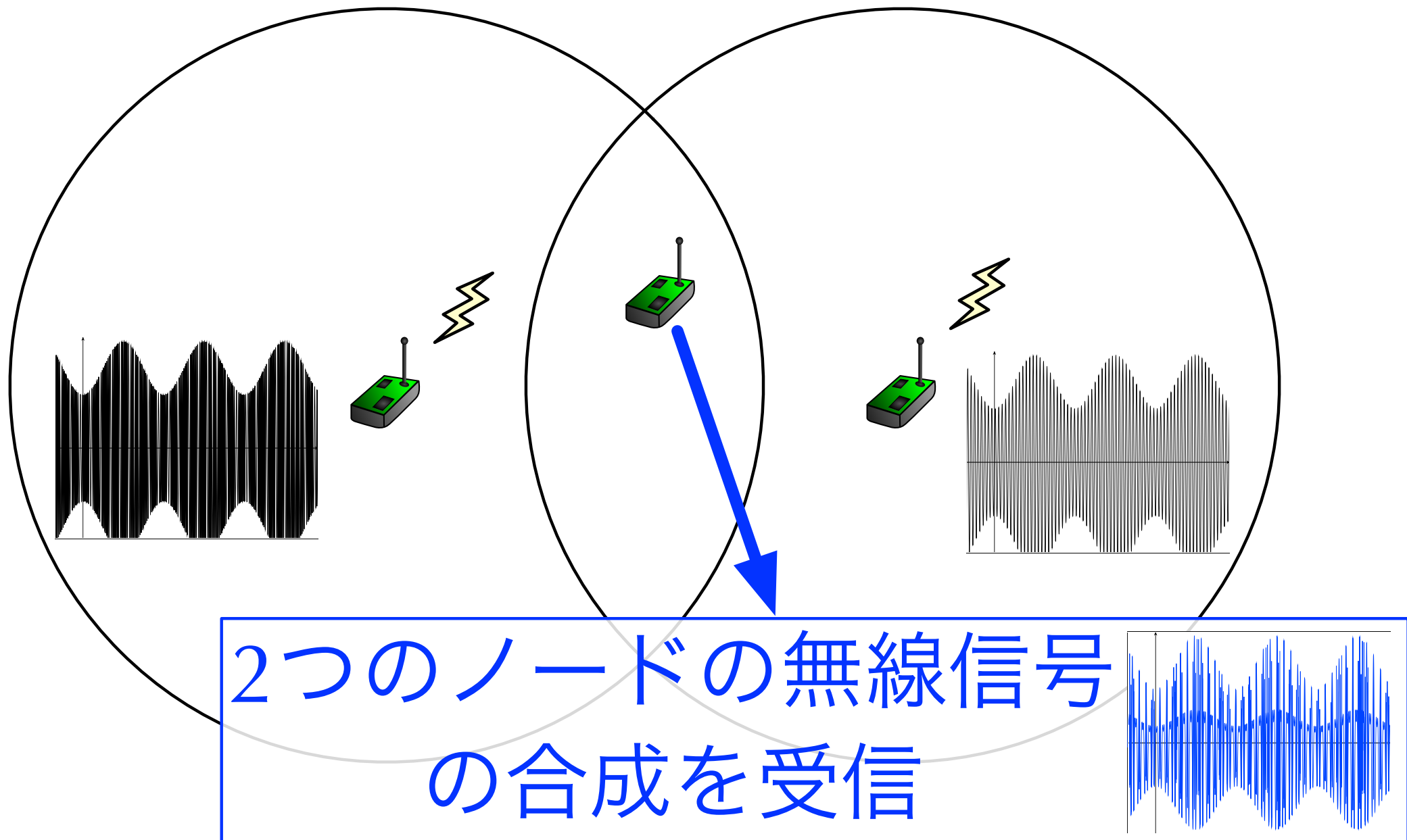
- 通信のアクセス制御について理解する
  - 「通信の衝突」について知る
  - 衝突回避の基本概念を知る
  - 基本となるアクセス制御方式について知る

# 通信の衝突とアクセス制御

---

# 通信の衝突 (1)

- 2つのノードが同時に送信したらどうなる？



# 通信の衝突 (2)

---

## ■ 復調可能？

$$E = (I_1 + I_2) + j(Q_1 + Q_2)$$

- 2つの信号が混ざっているので分離できない

⇒ 通信の衝突

## ■ 通信の共存

- 複数のノードが送信する場合，衝突回避が必須

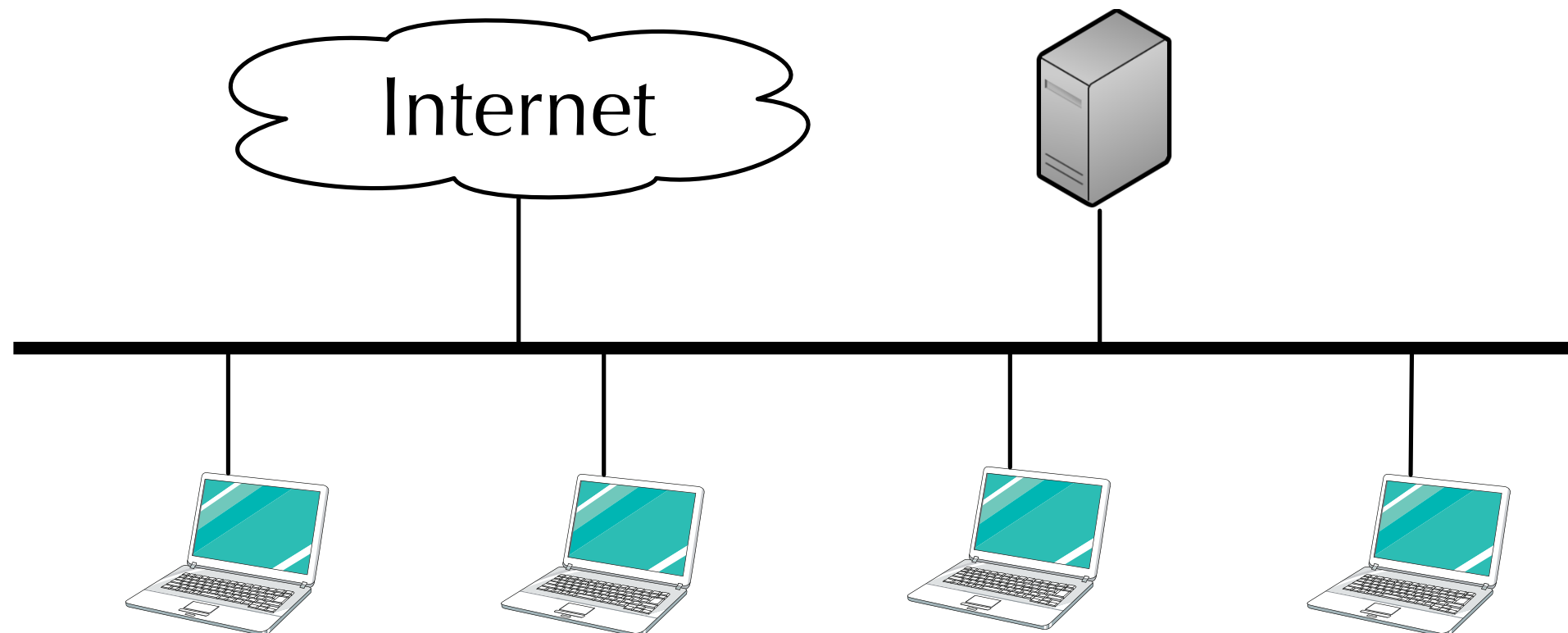
⇒ 分離できない電波を同時に出不さないようにする

= アクセス制御 (Media Access Control: MAC)

# 有線の通信衝突

---

- 通信の衝突は無線だけ？
  - 同じ線に複数台のノードが接続されている場合も衝突が起きる
  - 例) 有線LAN (Ethernet = IEEE 802.3)



# 問題

通信の衝突を回避するためには  
どうしたらいい？

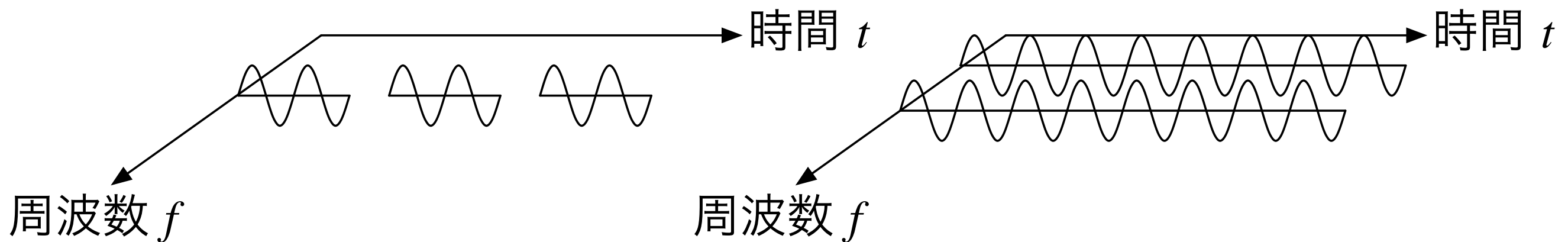


# アクセス制御のアプローチ

---

## ■ 2つの軸

- 時間
  - トークンパッシング・トークンバス（主に有線）
  - TDMA, ALOHA, CSMA
- 周波数
  - FDMA, OFDMA, SC-FDMA



# MACプロトコル

---

# MACプロトコル

---

## ■ アクセス制御のためのプロトコル

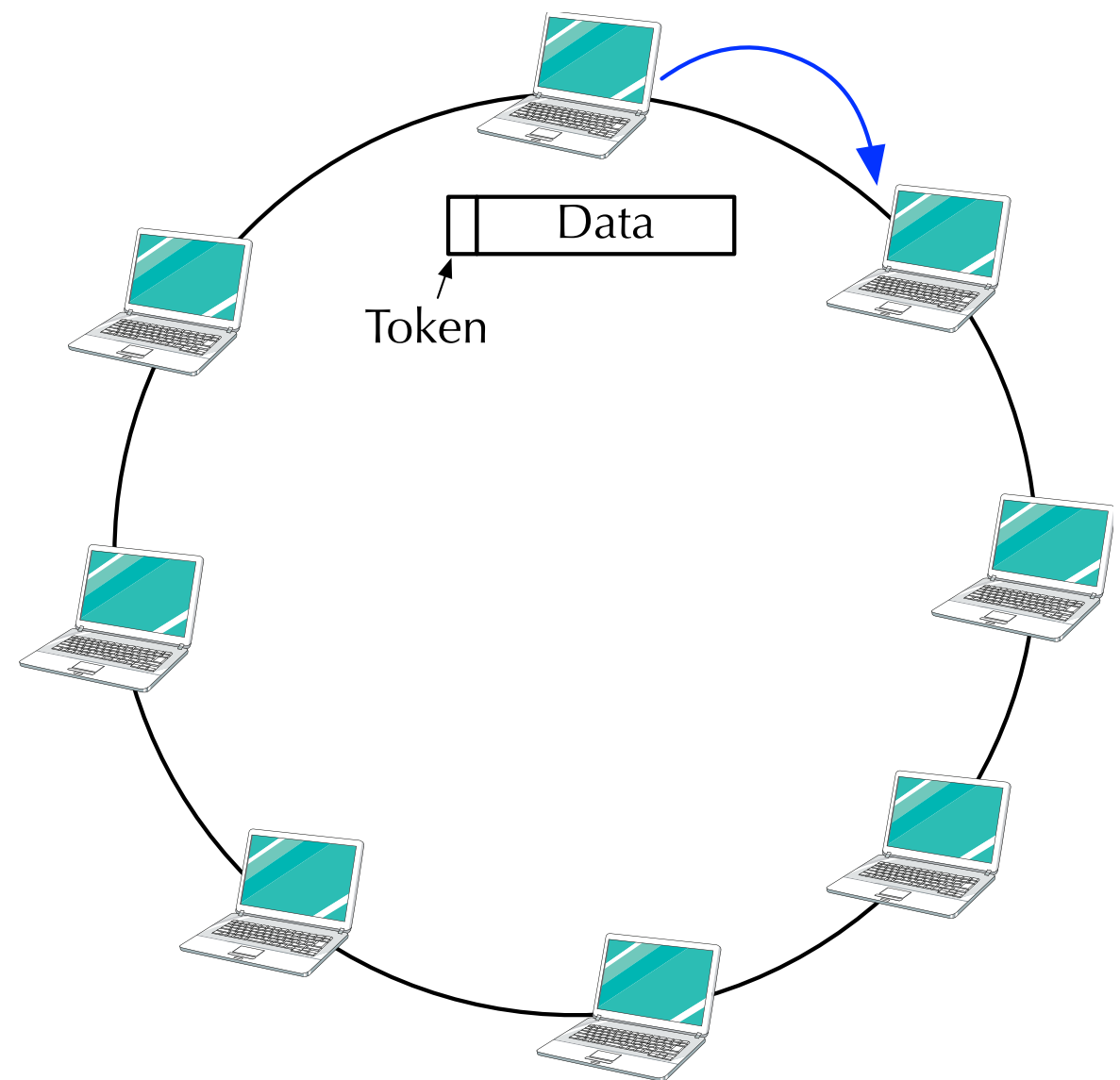
### ※ プロトコル

- 通信を行う時の手順を決める“取り決め”
  - どのノードが
  - いつ
  - どのタイミングで
  - 何を
  - どのように

# 時間軸方向の アクセス制御

# トークンパッシング

- 「トークン」を持つものが送信権を持つ
  - トークンを受信したノードはデータを付加して別のノードに送る
  - これを繰り返す
- バスに適用したのがトークンバス
  - 仮想的なリングネットワークを形成する

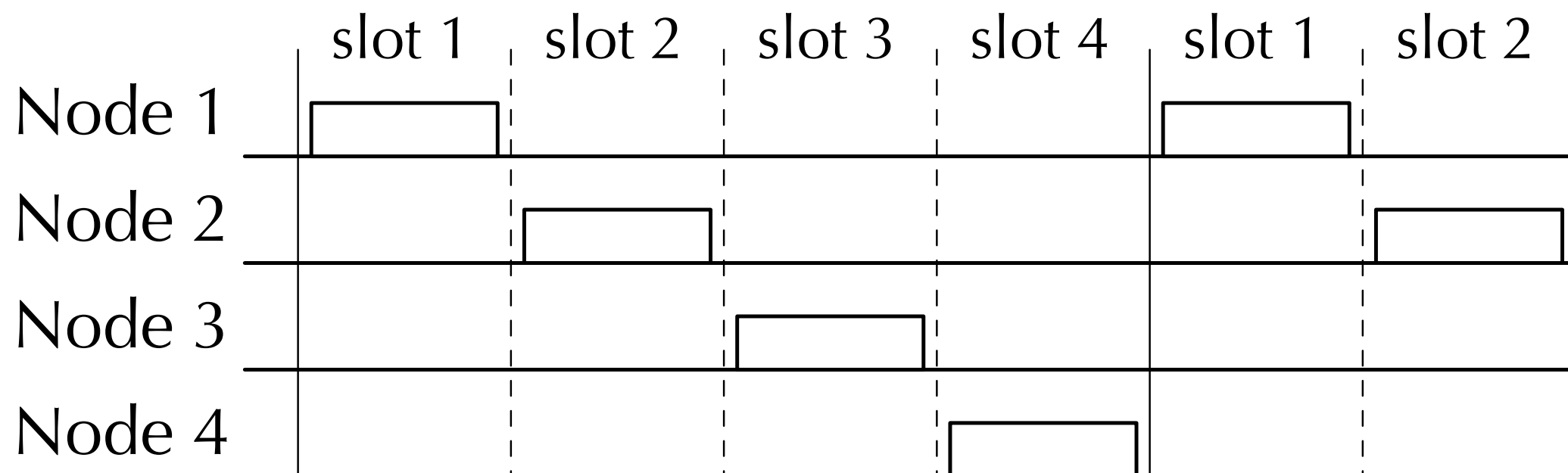


# TDMA

---

## ■ Time division multiple access

- 時間を“slot”（またはtimeslotと呼ぶ）に区切る
- 1 slotで1ノードだけが送信するように送信スケジュールリング
  - 全ノードは同期されていないとダメ



# TDMAの特徴

---

## ■ Pros

- 1つの周波数を複数のノードで共有できる
- 衝突は100%回避可能であり，通信効率が高い
- 動的なスロット割当てによる可変通信帯域が実現できる

## ■ Cons

- 同期が必須のためオーバーヘッドが大きい
- 動的にスロットを割当てる場合には制御が難しい
- 送信信号が隣接チャネル信号に影響しやすい

# ALOHA

---

## ■ Pure ALOHA

- 送信ノードは送りたいときにいつでも送信
- データを受信したノードは送信元に受信確認パケット（ACK: acknowledgment）を送信
- 送信ノードは一定時間内にACKが返って来なければランダムな時間待ってから再送

## ■ Slotted ALOHA

- 時間をslotに区切り，その中でPure ALOHAにより衝突回避



# ALOHAの特徴

---

## ■ Pros

- シンプルであり，各ノードが自律的に動作できる
- Slot同期すると衝突率が低下してスループット向上

## ■ Cons

- 達成可能なスループットが低く，効率が悪い
- 送信要求が多くなるとスループットが大幅に低下
- ACKのための通信は別チャンネルが必須
  - ACKを同一チャンネルでやると極めて非効率的になる

# ALOHAの性能 (1)

---

## ■ 前提

- $N$ 台のノードが時間 $T$ だけ送信, 送信要求は確率 $p$ で発生

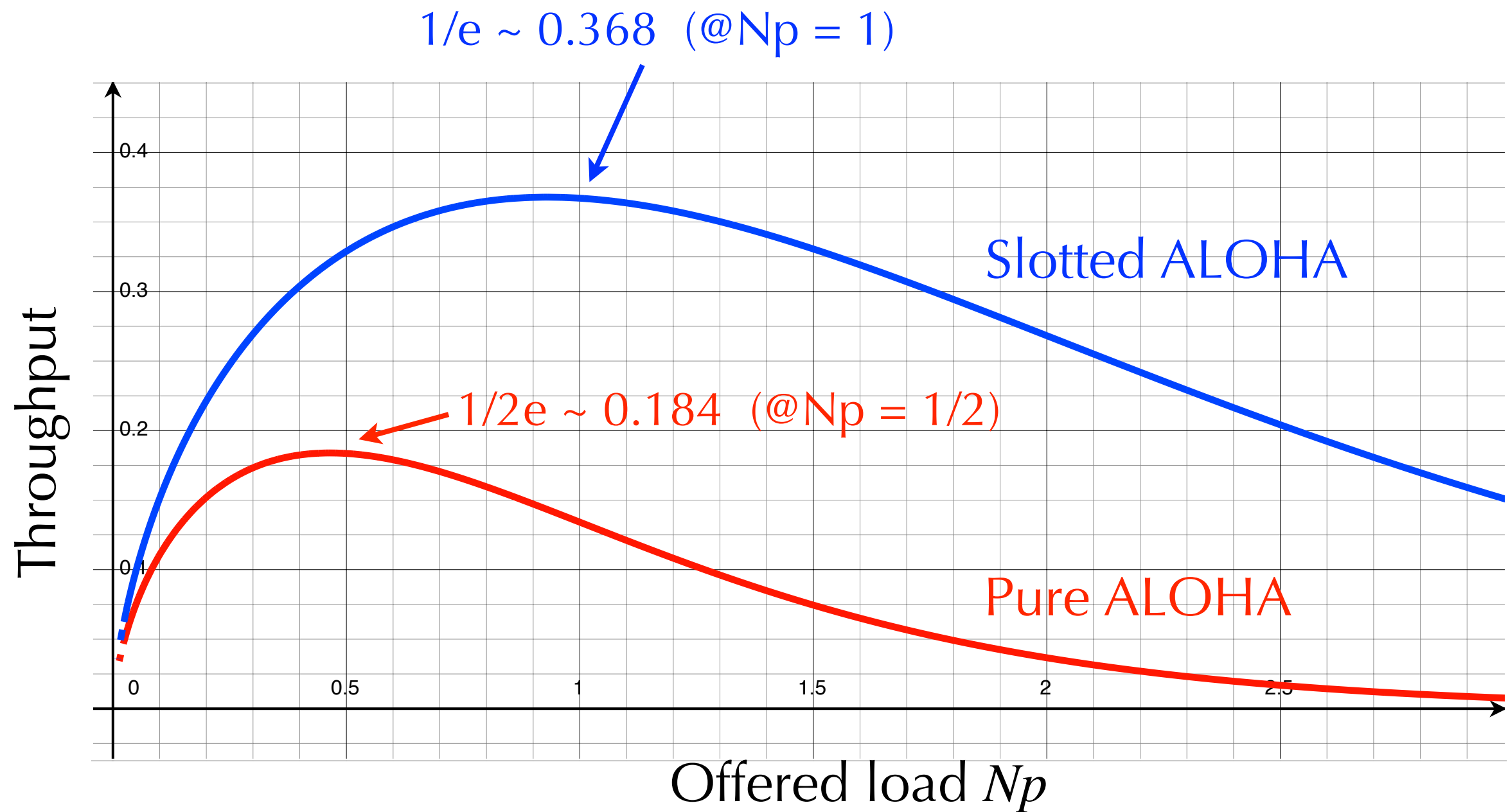
## ■ 解析

- 送信がランダムなら送信の発生はポアソン過程
- 衝突しない確率は $2T$  間に送信が発生しない確率
  - Slotted ALOHAの場合は $T$  間
- これを全ノードで平均

$$NpP_1(0) = Np \frac{(2Np)^0 e^{-2Np}}{0!} = Np e^{-2Np} \quad (\text{pure ALOHA})$$

$$NpP_2(0) = Np \frac{(Np)^0 e^{-Np}}{0!} = Np e^{-Np} \quad (\text{slotted ALOHA})$$

# ALOHAの性能 (2)



# CSMA

---

## ■ Carrier sense multiple access

- 送信ノードは送信前に受信 (carrier sense)
- 他のノードが送信していたら送信を延期
- 他のノードの送信がなければ決められたアルゴリズムに従って送信
  - ただちに送信
  - ランダム時間待ってから送信 (backoff)
  - . . .

# CSMAの特徴

---

## ■ Pros

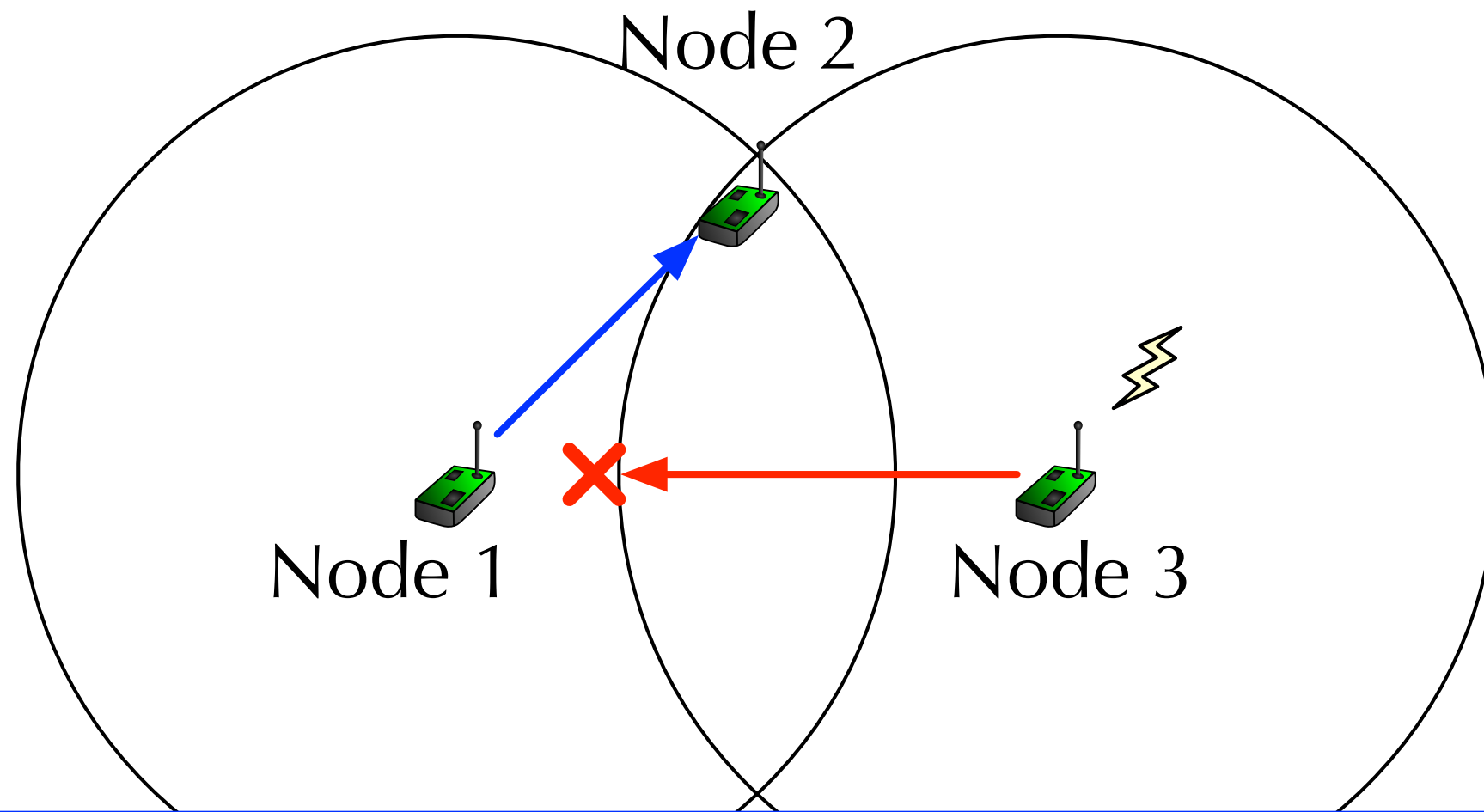
- 各ノードは自律分散動作できる
- ALOHAに比べてスループット， 効率が向上

## ■ Cons

- 隠れ端末問題や同時送信による衝突が発生し得る

# 隠れ端末問題

## ■ ノード1 → ノード2への通信



ノード1はノード3の無線信号を検出できないので、  
CSMAしても通信が衝突

# CSMA/CDとCSMA/CA

---

## ■ 有線と無線の違い

- 有線: 全てのノードの送信信号を検出できる
- 無線: 全てのノードの送信信号は検出できない

## ■ CD: collision detection

- 有線では送信中にも受信しておくことで衝突を検知できる

## ■ CA: collision avoidance

- 無線では衝突を検知することはできないので, 衝突しないような工夫 (backoffなど) が必須

# 周波数軸方向の アクセス制御



# FDMAとその特徴

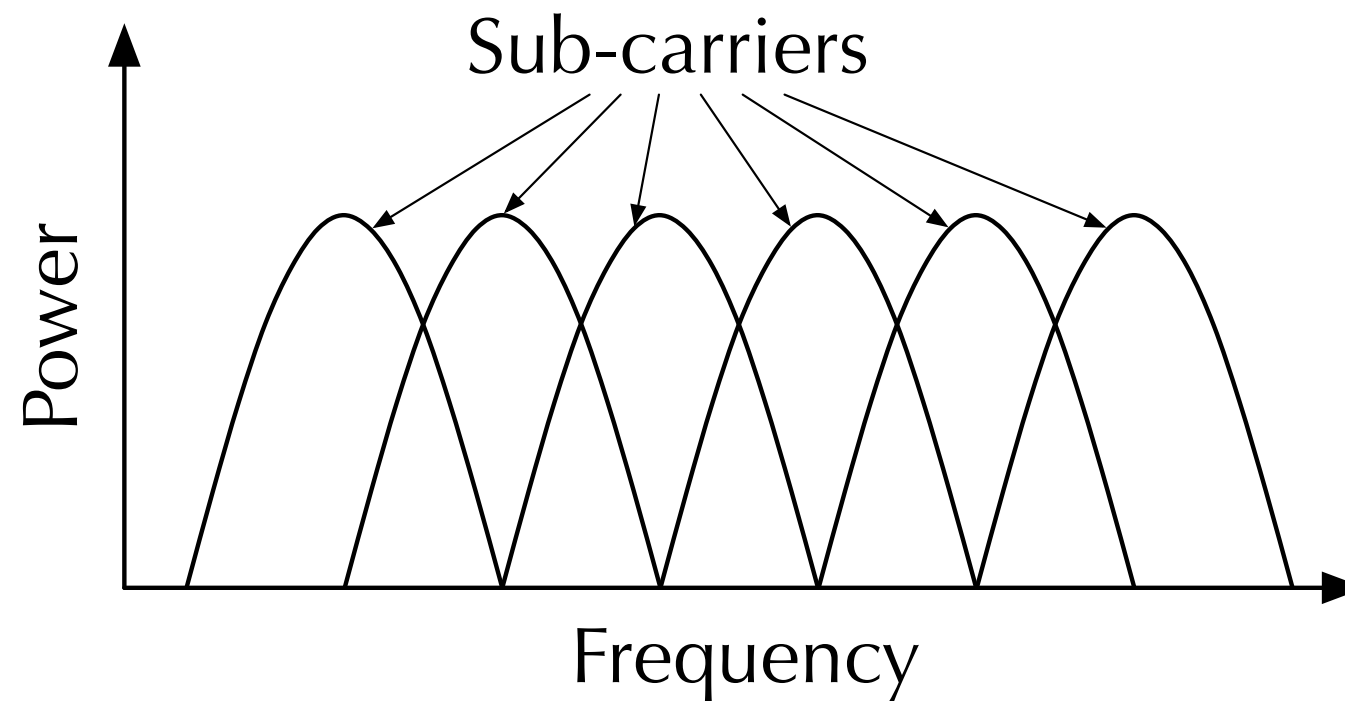
---

- Frequency division multiple access
  - ノード毎に異なる周波数（チャネル）を使って通信
- Pros
  - シンプル
  - 高い周波数利用効率を達成可能
- Cons
  - ノード数だけチャネルが必要
  - ノード数が固定でないときはチャネル割当てが複雑

# OFDMA

---

- Orthogonal frequency division multiple access
  - OFDMのサブキャリアをノードに割当てて通信
    - 直交する周波数のサブキャリア（要するに混ざらない搬送波）を使ったFDMA
- = FDMAの超高効率化バージョン



**実は別の軸がある**

# CDMA

---

## ■ Code division multiple access

- 各ノードに拡散符号を割当てて通信
  - 拡散符号を使った**スペクトル拡散**で、同じ周波数、同じ時刻の通信から必要な信号だけを抜き出す

## ■ Pros

- 他人に盗み聞きされにくい（通信を実現可能）
- ノイズに強い

## ■ Cons

- ノードの数だけ拡散符号が必要、動的に割当てる場合は複雑になる

# スペクトル拡散

---

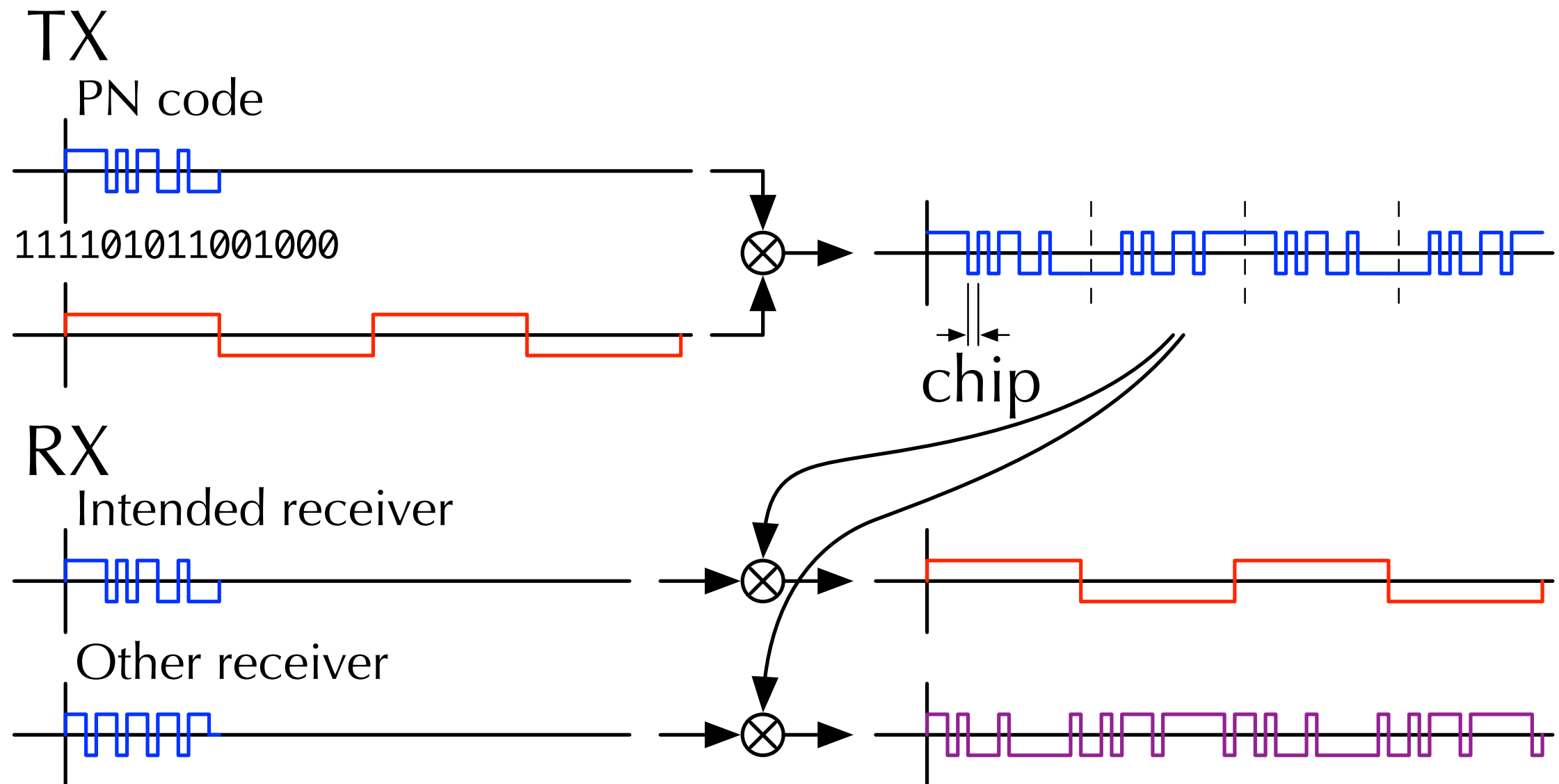
## ■ Spread spectrum

- 無線信号をより広帯域な信号に拡散する技術
  - DSSS: direct sequence spread spectrum
    - GPS, 802.11b, 802.15.4
    - CDMAはこっちを利用
  - FHSS: frequency hopping spread spectrum
    - Bluetooth, 802.11

⇒ ノイズ・干渉に強い

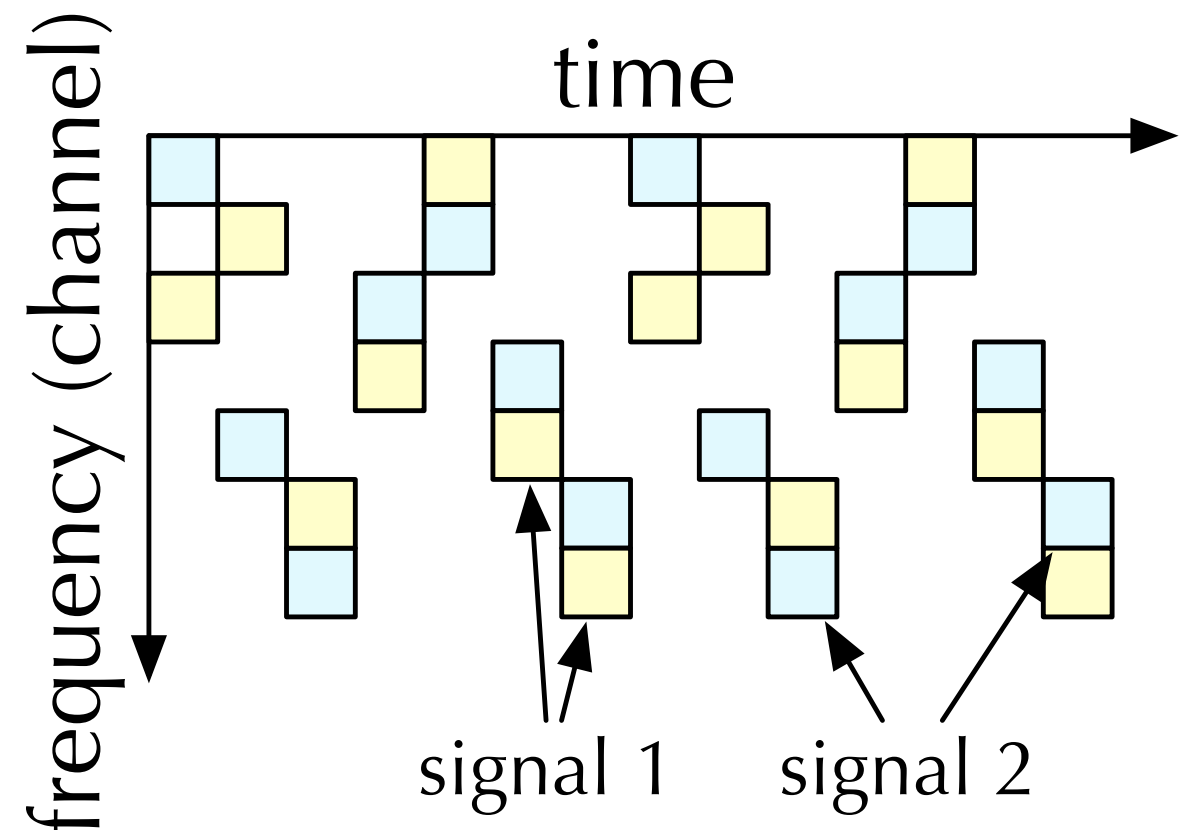
# DSSS

- TX: 送信信号と疑似ノイズ信号を掛け算して送出
- RX: 同じ疑似ノイズ信号と掛け算して復元



# FHSS

- 一定時間毎に疑似ランダムに送信周波数を変えて送信
  - slow hopping
    - 1周波数で複数シンボルを送信
  - fast hopping
    - 1シンボルを複数周波数で送信



# 多元接続と多重化

---

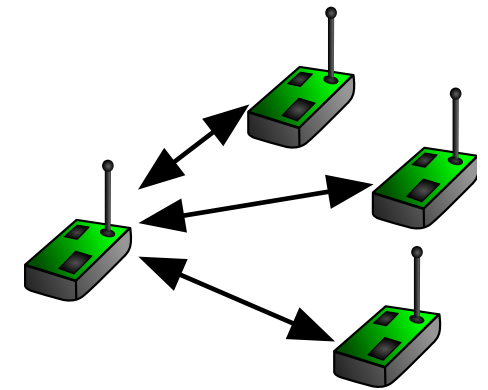


# 多元接続と多重化

---

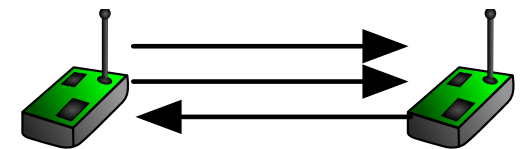
## ■ 多元接続 (multiple access)

- 1対多の通信を実現する技術



## ■ 多重化 (multiplexing)

- 複数の情報をやり取りする技術



- ステレオ (右・左チャンネル), 上り・下り

⇒ どちらもアクセス制御で実現される

- 呼び名は変わります

- TDMA ↔ TDM (time division multiplexing)

- FDMA ↔ FDM (frequency division multiplexing)

# まとめ

---

# まとめ

---

- 無線も有線も同時に送信したら衝突する
  - 衝突を避けるためにはアクセス制御が必須
- MACプロトコル
  - アクセス制御を実現するプロトコル
  - 時間軸, 周波数軸, 符号軸のアプローチを組合せる
- 多元接続と多重化
  - 1対多の通信, 複数の信号をまとめる通信