

#7 VRC通信工学集会

通信ってぶつからないの？

～ Wi-Fi や 5G を支える OFDM ～



Presenter : Yudofu_185

VRC通信工学集会 | VRCCE.1871 | X : @vrcce_official

自己紹介



Presenter

Yudofu_185

活動

VRC通信工学集会 主催
学生学際集会 共同主催

研究

ネットワーク関連の研究をやっている

専門

通信工学

わかる分野

理系全般（おそらく）

目次

01

電波はぶつからないの？

重なると起きること — 干渉という問題

02

じゃあ、分ければいい

時間・周波数・符号で分ける

03

FDM とその限界

ガードバンドという「もったいない隙間」

04

OFDM と「直交」

本日の核心 — 重ねても分けられる理由

05

実用と弱点

Wi-Fi・5G・地デジ、そして完璧ではない話

電波はぶつからないの？

この会場で、いま起きていること

- たくさんの人が、同時にスマホを使っている
- Wi-Fi、4G、5G、Bluetooth ...
- 全員が同じ「電波」という道を使っている

電波はぶつからないの？

この会場で、いま起きていること

- たくさんの人が、同時にスマホを使っている
- Wi-Fi、4G、5G、Bluetooth ...
- 全員が同じ「電波」という道を使っている

答え：普通に重なっています

- 電波はぶつかるし、実際に重なっている
- それでも問題なく通信できている
- 今日は、その理由を追いかけます

「重ならないようにしている」のではない — ここが今日の出発点

電波が重なるとどうなる？

2人が同時に喋ると

Aさん「こんにちは！」 Bさん「こんばんは！」

- 同時に聞こえると、どちらも聞き取れない
- 声も電波も「波」なので、起きることは同じ

これを「干渉」と呼ぶ

- 複数の信号が重なる → 互いに邪魔をする
- では、なぜ Wi-Fi は普通に使えているのか？
- 干渉させない工夫が必要になる

重なると干渉する。ならば、どうやって分けられればいい？

じゃあ、分ければいい

通信を分ける、代表的な3つの考え方

時間で分ける

TDM / TDMA

AAA | BBB | CCC
順番に、少しずつ使う

周波数で分ける

FDM / FDMA

使う周波数をずらす
ラジオ局のイメージ

符号で分ける

CDMA

「合言葉」を決めて重ねる
※ これは次回！

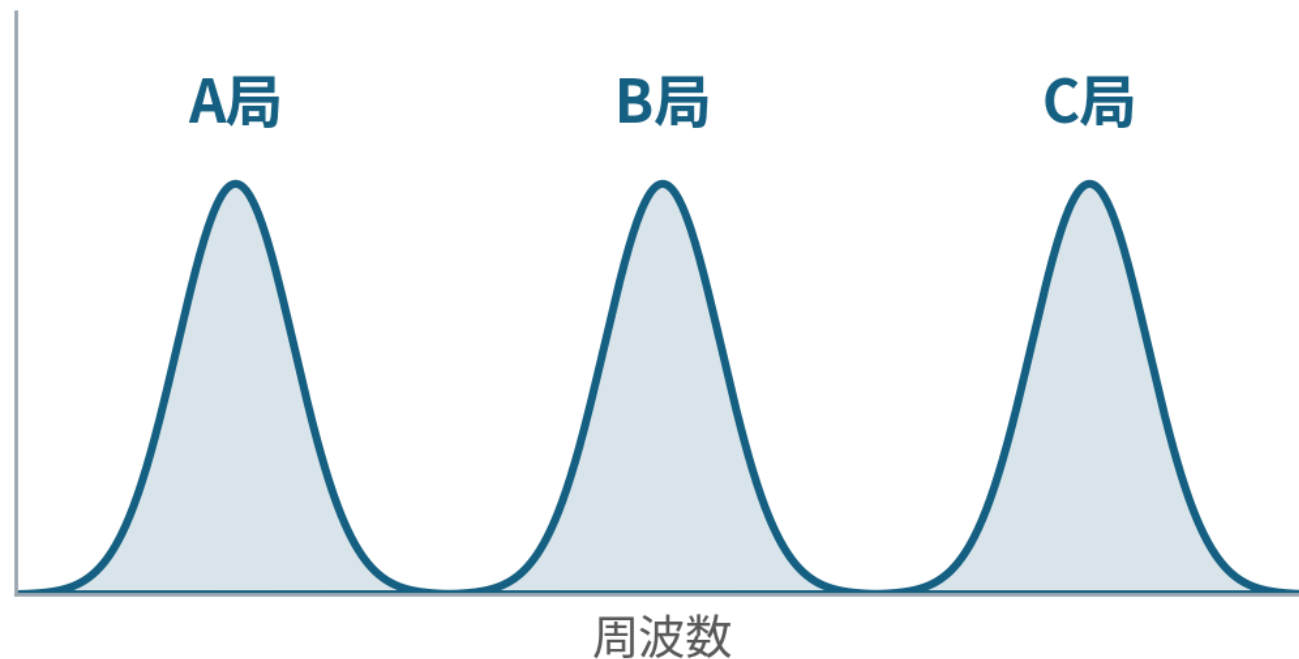
今日の主役は「周波数で分ける」方式 — その進化形が OFDM

周波数で分けてみよう

身近な例：ラジオ

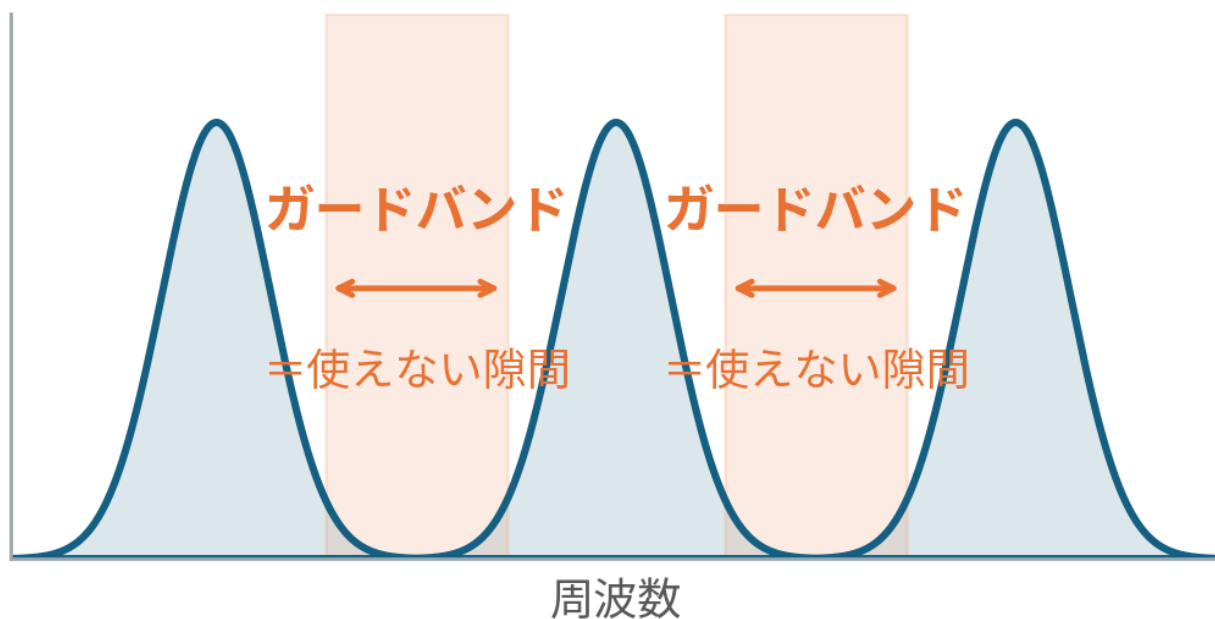
80.0 MHz / 81.3 MHz / 82.5 MHz

- 局ごとに使う周波数が違う
- だからダイヤルを合わせれば聞き分けられる
- これが FDM（周波数分割多重）



周波数という「置き場所」をずらして、同時に通信する

でも、隙間がもったいない



干渉を防ぐための代償

- 隣とぶつからないように、間に余白（ガードバンド）が必要
- この余白では通信できない
- もっとギリギリまで詰め込めないの？

電波は有限の資源。隙間を減らせれば、その分だけ多く運べる

そこで OFDM

Orthogonal Frequency Division Multiplexing

直交周波数分割多重

やっていること

- 細い通信路（サブキャリア）を大量に作ってデータを並列に流すだけ
- 1本1本は細く、ゆっくりでいい

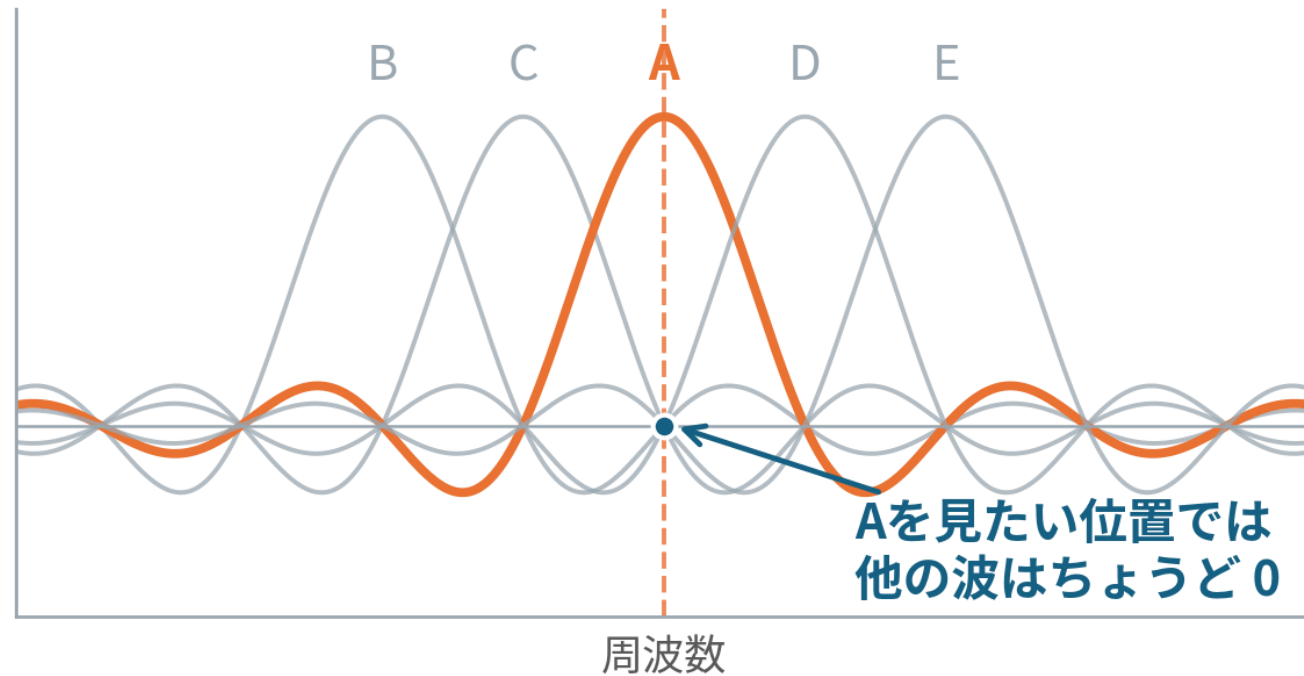
ただし、ここが普通じゃない

- 普通なら干渉するくらい近くに並べる
- それでも分離できる — その仕掛けが「直交」

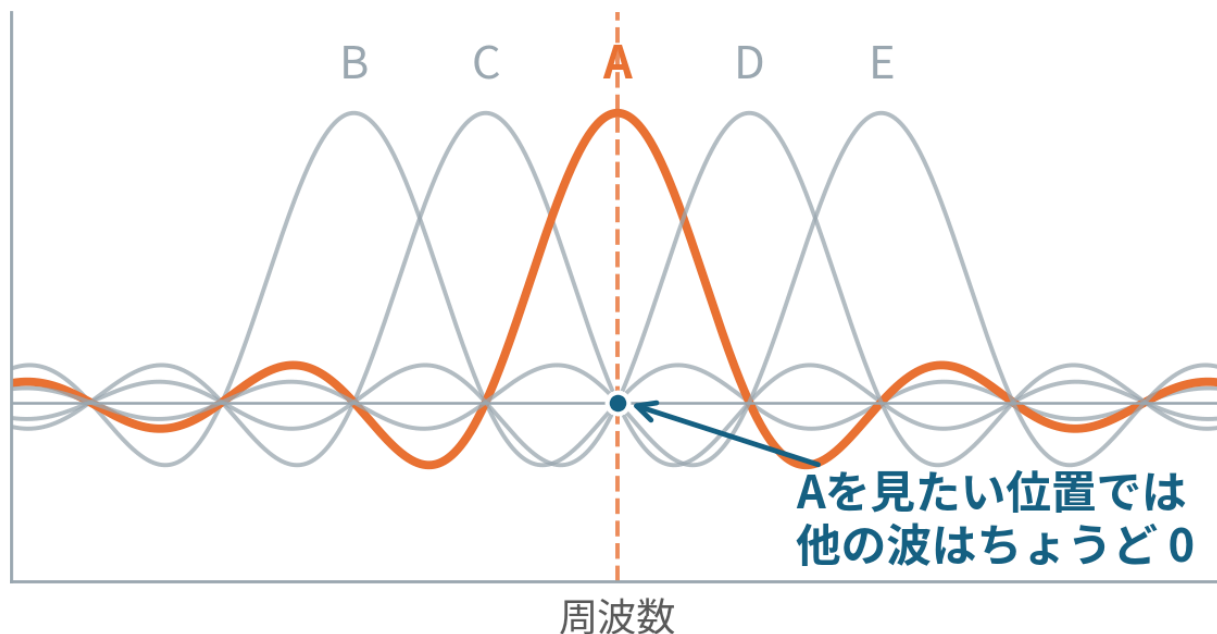
名前は難しいが、考え方は「細く分けて、ぎゅっと詰める」だけ

「直交」って何？

ある信号を見たい場所では、他の信号の影響がちょうど0になるように波を配置する



「直交」って何？



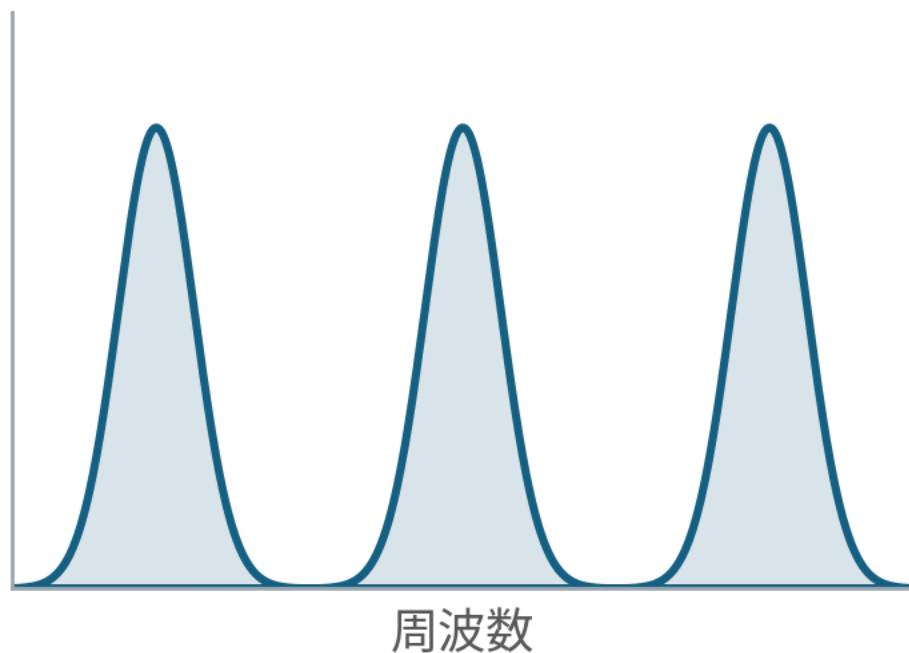
重なっていても分けられる

- 波は確かに重なっている
- でも A のピーク位置では B も C も D もちょうど 0
- だから A を読むとき、他の信号は一切邪魔をしない

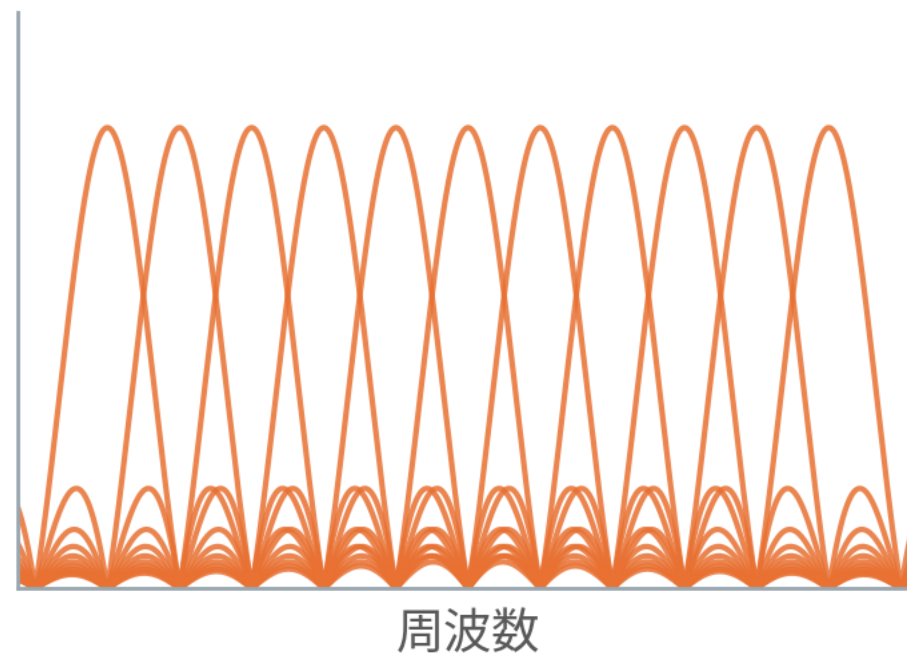
「重ならないようにする」のではなく「重なっても平気なように置く」

実は、こんなに重なっている

従来のFDM — 離して並べる



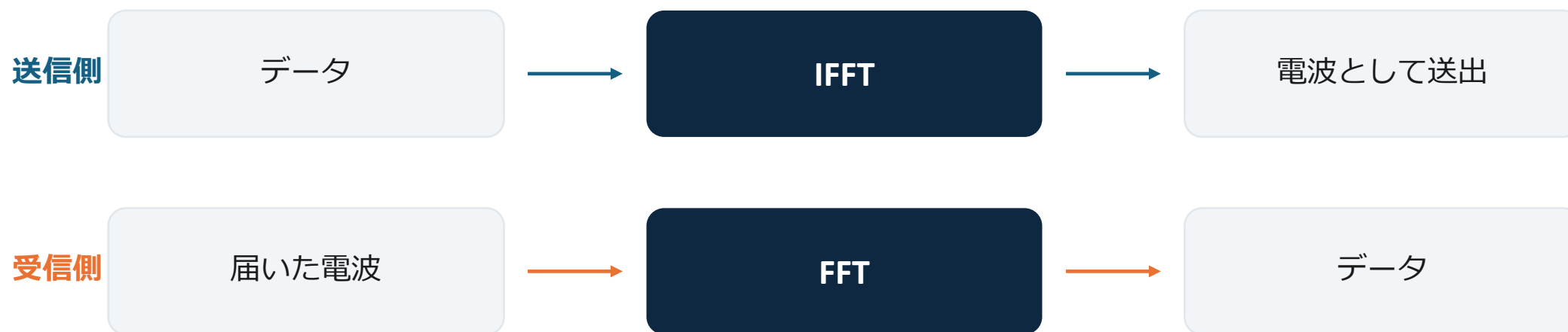
OFDM — 重ねて詰め込む



通信が重なっても大丈夫？ → 条件を満たして重ねれば、大丈夫！

どうやって分離するの？

送信側と受信側でやっていること



FFT = 混ざった信号を、周波数ごとに分解する計算

実際にはデジタル信号処理で、大量のサブキャリアを一気に生成・分離している

重ねて送り、計算で分ける — これがデジタルならではの強み

反射しても大丈夫？

電波は一直線だけではない

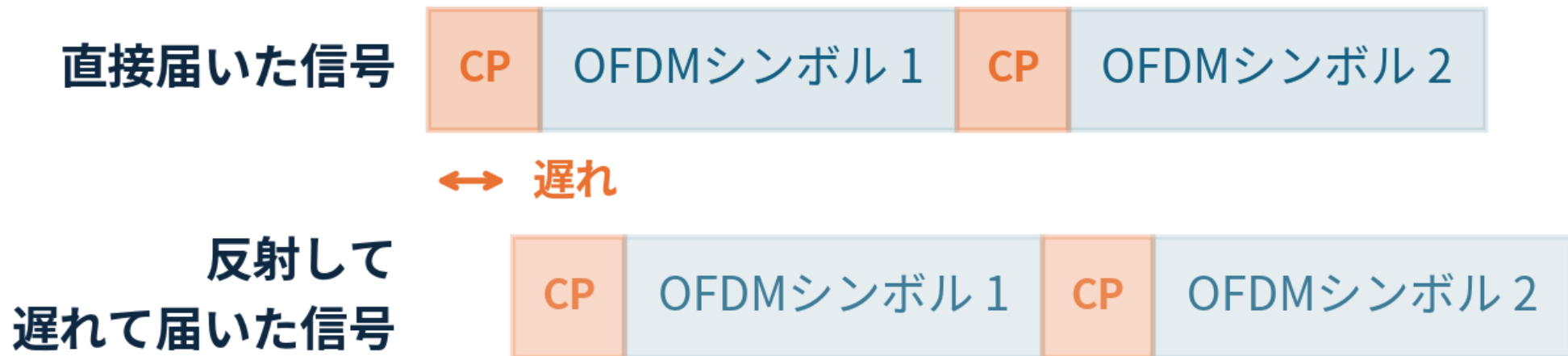
- 壁・床・天井・建物にぶつかって反射する
- 同じ信号が、少し遅れて何度も届く
- これを「マルチパス」と呼ぶ

何が困るのか

- 遅れて届いた信号が次のデータの区間に食い込む
- → 前後のシンボルが混ざって壊れる
- 屋内ほど反射が多く、影響も大きい

そこで OFDM は、あらかじめ「のりしろ」を用意しておく

CP (Cyclic Prefix) というのりしろ



遅れが CP の幅に収まっていれば、本体のデータは無傷

少し余裕を持たせて、遅れてきた信号が次のデータに食い込むのを防ぐ

実は身近にある OFDM

Wi-Fi

OFDM / OFDMA

自宅・カフェ・職場

4G LTE

OFDM 系

スマホのデータ通信

5G NR

CP-OFDM など

高速・大容量の通信

地上デジタル放送

OFDM

テレビの電波

YouTube を見ているときも、VRChat で誰かと話しているときも、裏で OFDM が働いている

OFDM も完璧ではない

PAPR が大きい

波を大量に重ねるため、瞬間的に電力が跳ね上がることがある

周波数ずれに弱い

少しでもずれると「他はちょうど0」が崩れ、干渉が復活する

同期が重要

タイミングが合っていることが大前提の方式

処理が少し複雑

FFT を高速に回し続けるだけの計算能力が必要

こんなに便利なら全部 OFDM でいい、というわけでもない

まとめ

通信ってぶつからないの？ → ぶつかる。でも、うまく重ねれば分離できる。

①

周波数を
細かく分ける

②

サブキャリアを
直交させる

③

FFT で
分離する

④

CP でマルチパス
にも対応

「重ならないようにする」のではなく、「重なっても大丈夫なようにする」

次回予告

NEXT 9/12

通信ってぶつからないの？

～「合言葉」で分ける CDMA ～

OFDM = 周波数と直交を利用するアプローチ

CDMA = 符号と相関を利用するアプローチ

この2回で、通信を「分ける」2つのアプローチが揃います

質疑応答

何でも聞いてください（なんでもとは言っていない）

アンケートにご協力お願いします！

今後の集会をよりよいものにしていくため、アンケートにご協力お願いします！

URL: <https://forms.gle/CEXFThbEz4JH7oqC6>

(URLは公式Xのプロフィールにも貼っております！)

今回の合言葉: 0822



VRC通信工学集会とは

むずかしいことを、ゆるく話そう

開催日：隔週 第2・第4土曜日 21:00 ～ 22:00 (LT開始 21:30 ～)

通信工学をあまり知らない人でも、気軽に参加してゆるく学べる集会をめざしています。

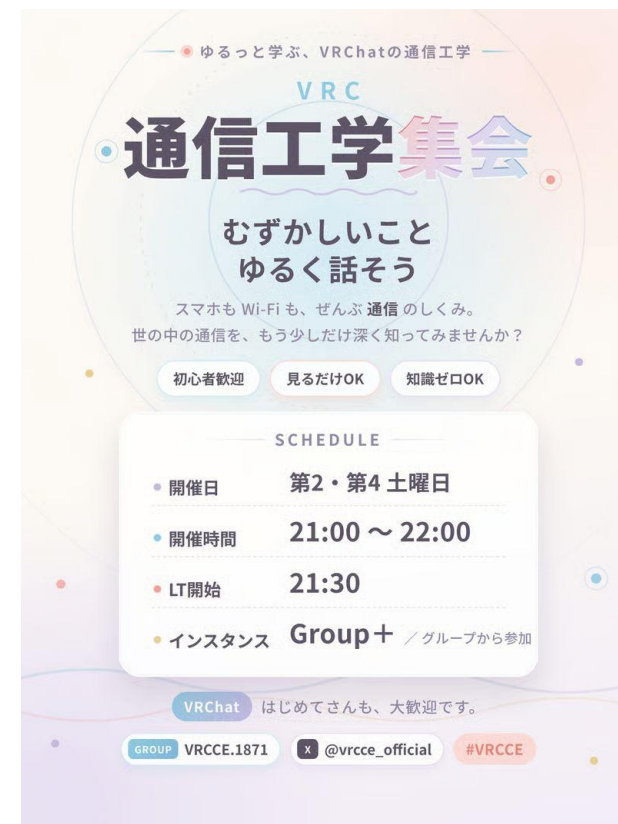
Group



Discord



X (Twitter)



発表者は随時募集中！

募集方法

- 技術・学術系イベントHubからLT申請 (<https://vrc-ta-hub.com/community/101/>)
- 公式X @vrcce_officialにDM (https://x.com/vrcce_official)

テーマは通信工学に関連するものならOK！（なるべく初心者にもわかりやすく発表してね）

発表時間目安：15～20分

Discordにて連絡が取れる方に限ります（XのDMでの対応も可，応相談）

#7 VRC通信工学集会

通信ってぶつからないの？

～ Wi-Fi や 5G を支える OFDM ～



Presenter : Yudofu_185

VRC通信工学集会 | VRCCE.1871 | X : @vrcce_official