

# 時間・ドップラーを効率的に推定可能な 新規レーダ技術

---

福岡大学 工学部 電子情報工学科

教授 大橋 正良

## あらまし

---

レーダは周知の通り、電波を対象物にあててその反射波が返ってくるまでの時間(遅延)ならびに周波数のドップラーシフト量を観測することで、対象物までの距離ならびに速度を検出する技術であり、現在航空管制や気象観測、車の自動運転など広範な分野で用いられています。

ここでは、現在研究開発中の新しいレーダ技術について紹介し、将来の自動運転への期待も含めて発明された新技術について説明いたします。

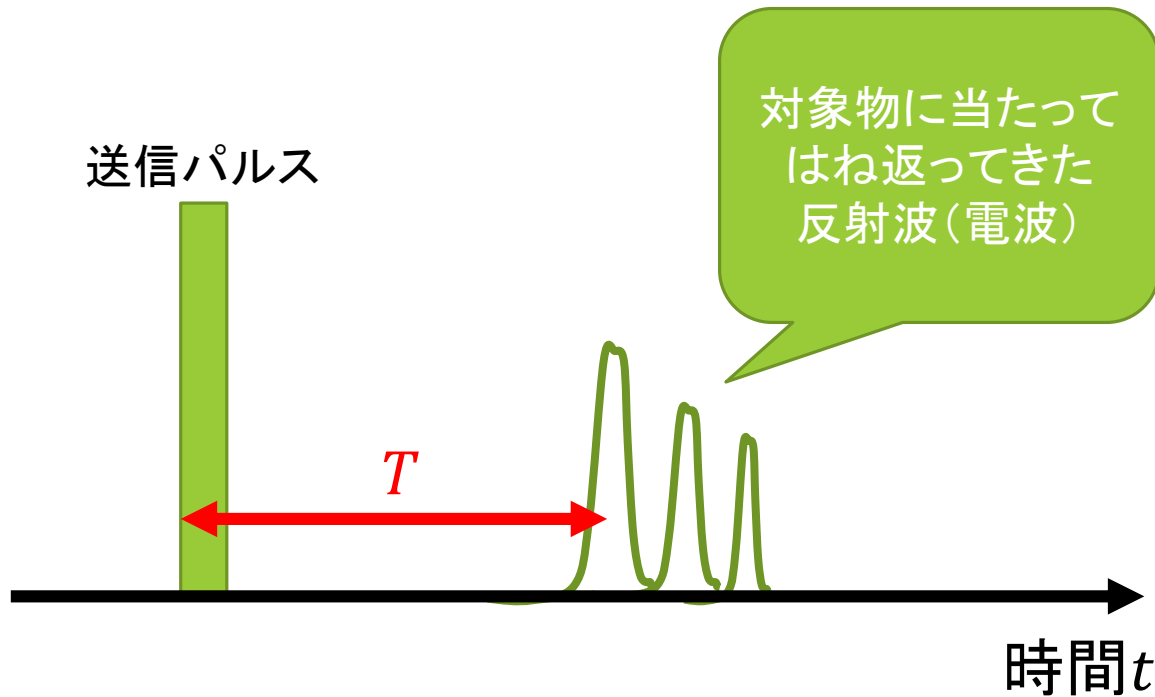
# レーダの原理

---



1. アンテナから電波を発射する
2. 対象物にあたると電波は反射（散乱）する
3. 返ってきた電波成分を分析して、その時、もとの電波との差（時間、周波数）を求めて対象物の位置と速度を測定する

# パルスが返ってくるまでの時間で 距離がわかる

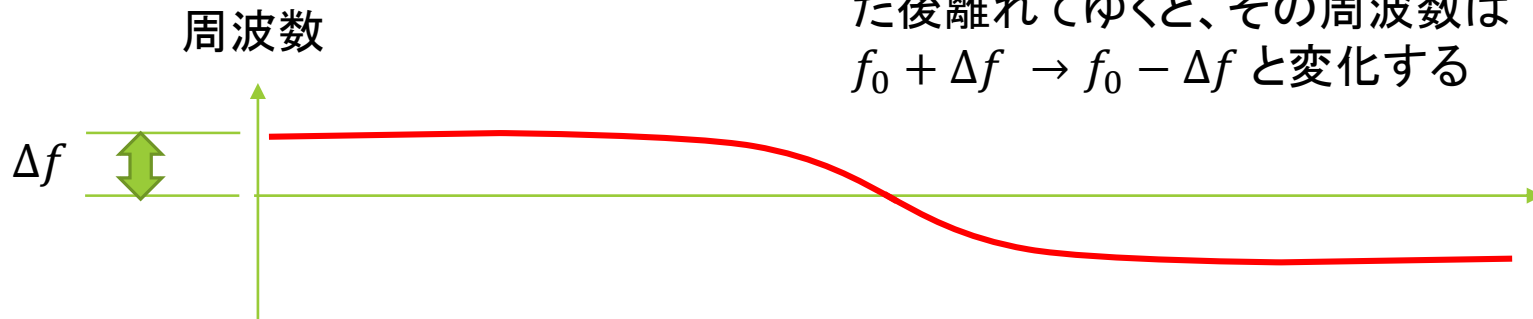


$$d = \frac{cT}{2}$$

$c$ ; 光速

## ドップラー周波数のずれより 物体の移動速度を測定する

周波数が $f_0$ の波を出す物体が速度 $v$ で近づいた後離れてゆくと、その周波数は $f_0 + \Delta f \rightarrow f_0 - \Delta f$ と変化する



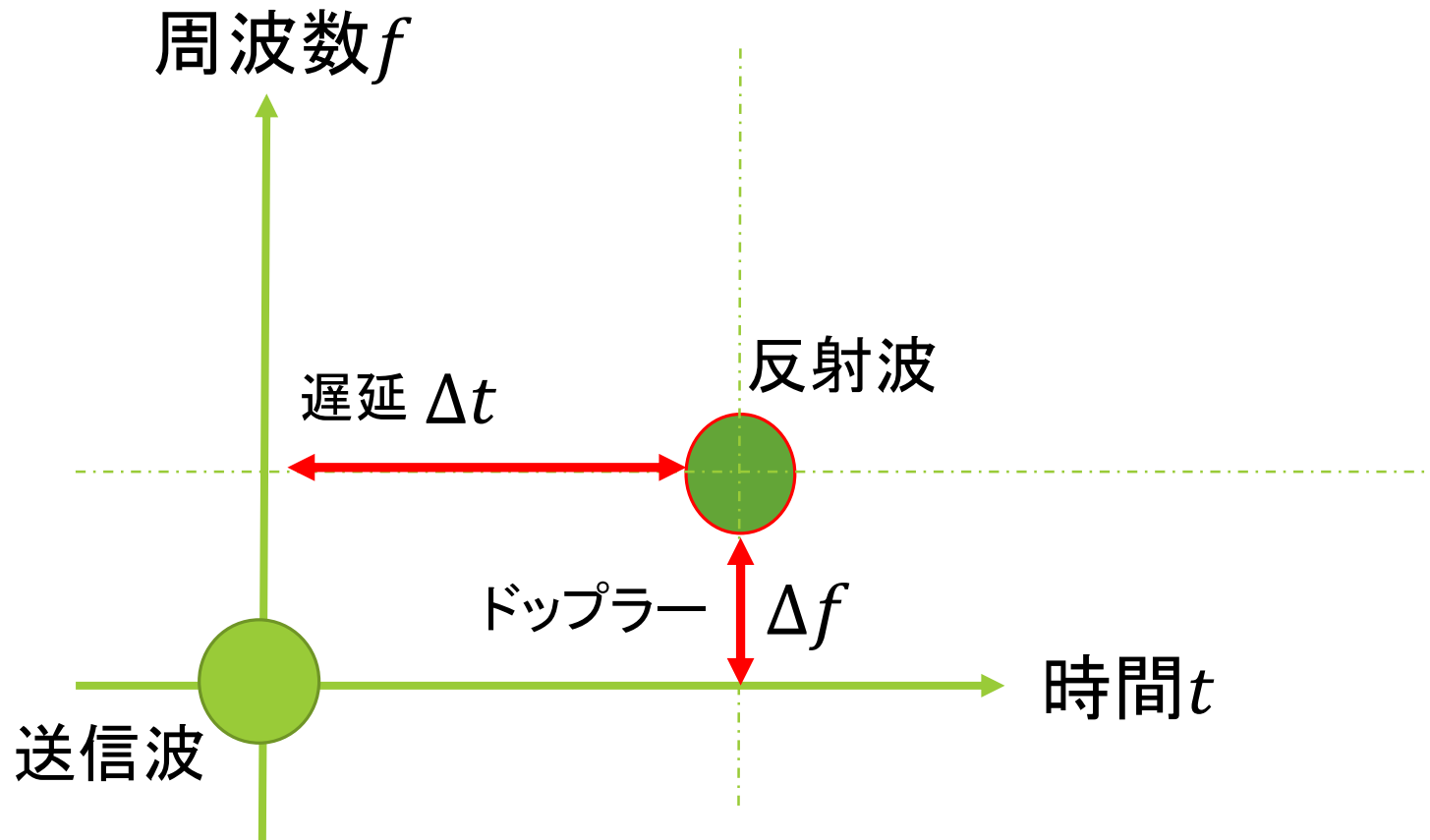
観測者が止まっているとすると、音速を $V$ ,救急車の速度を $v$ として、その周波数は

$$\Delta f = f_0 \times \frac{v}{V - v}$$

と変化する



従って対象物に電波をあて、時間軸、周波数軸で反射波の様子を見て、ずれ( $\Delta t, \Delta f$ )を発見できれば距離と速度がわかる

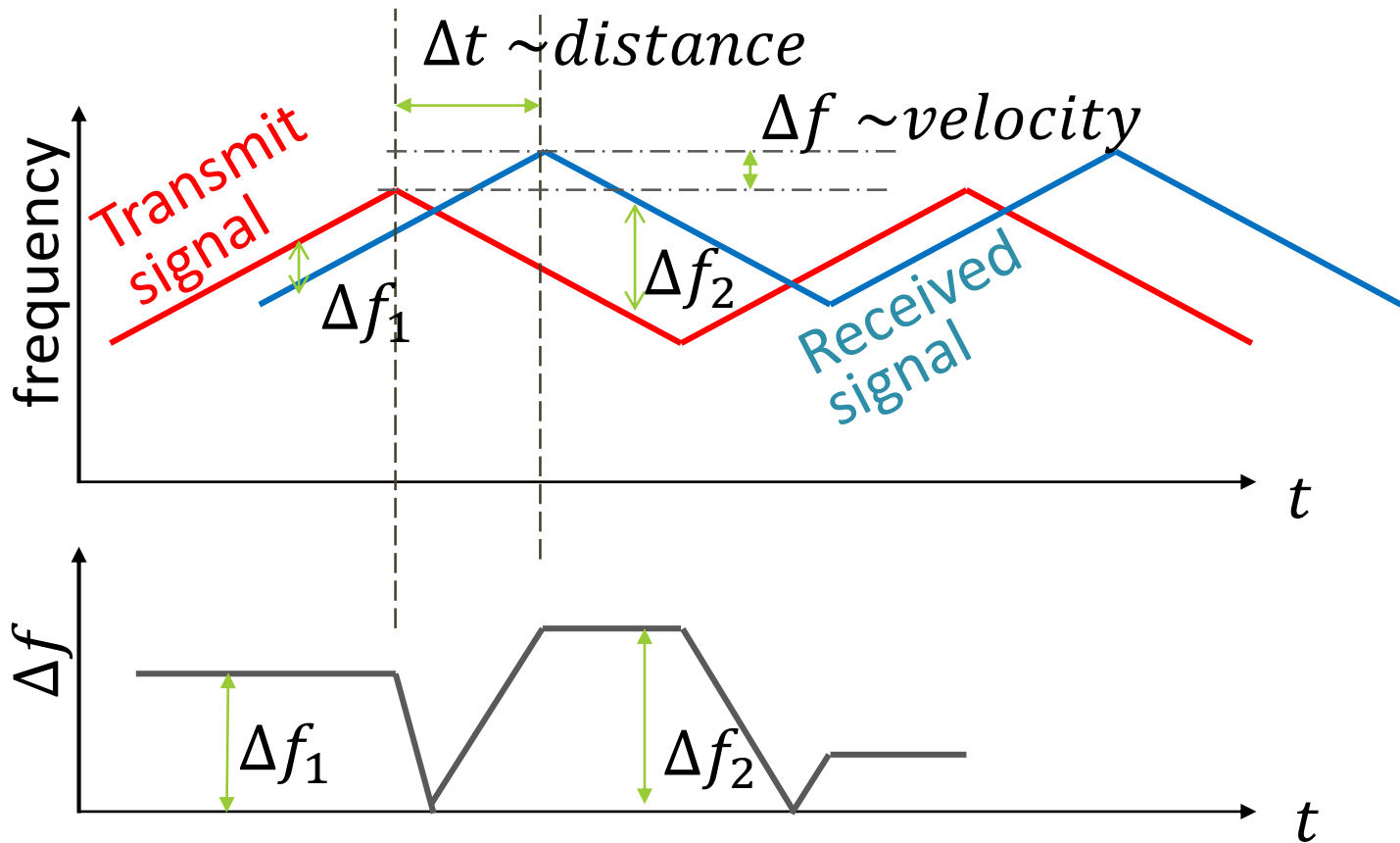


# 現在主に使われているレーダ方式

---

- パルス方式  
単発のパルスを発射する
- FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) 方式  
時間的に周波数がのこぎり状に代わる波
- パルス圧縮方式  
パルス幅の長い信号を発信し、受信側で信号処理によって、等価的に尖鋭な信号として検知

# 従来方式の例 (FMCW)



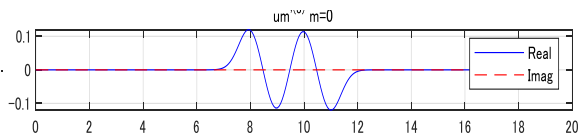
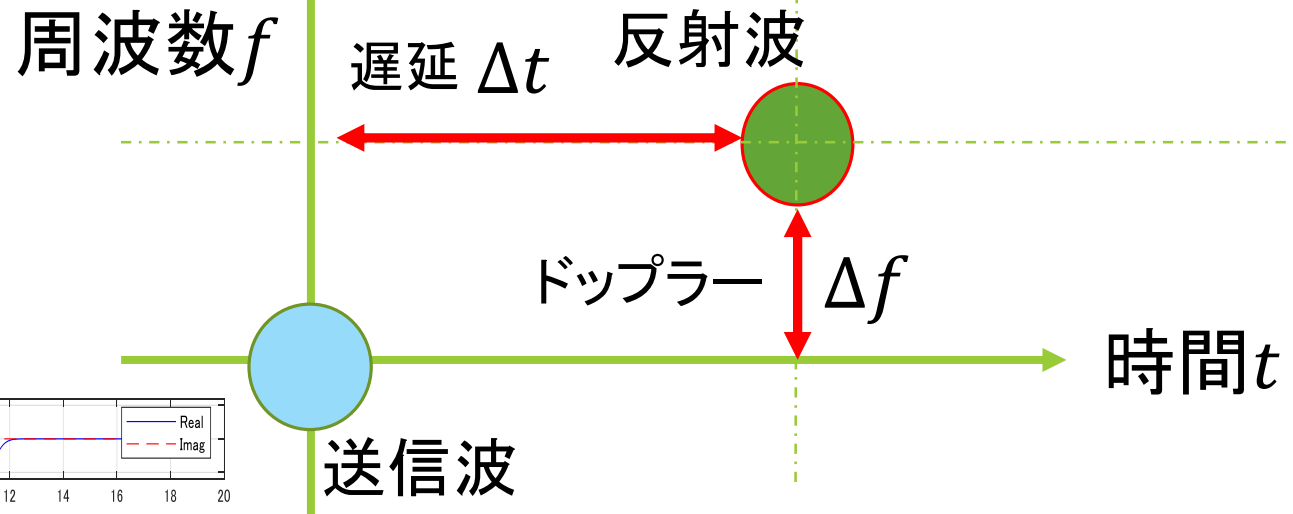
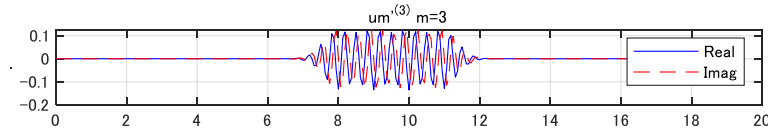
$$\text{distance} = \frac{c}{4a} (\Delta f_1 + \Delta f_2), \quad \text{velocity} = \frac{c}{4f_0} (\Delta f_2 - \Delta f_1)$$

$c = \text{light speed}, f_0 = \text{TX freq}, \quad a = \frac{df}{dt} \text{ of TX signal.}$

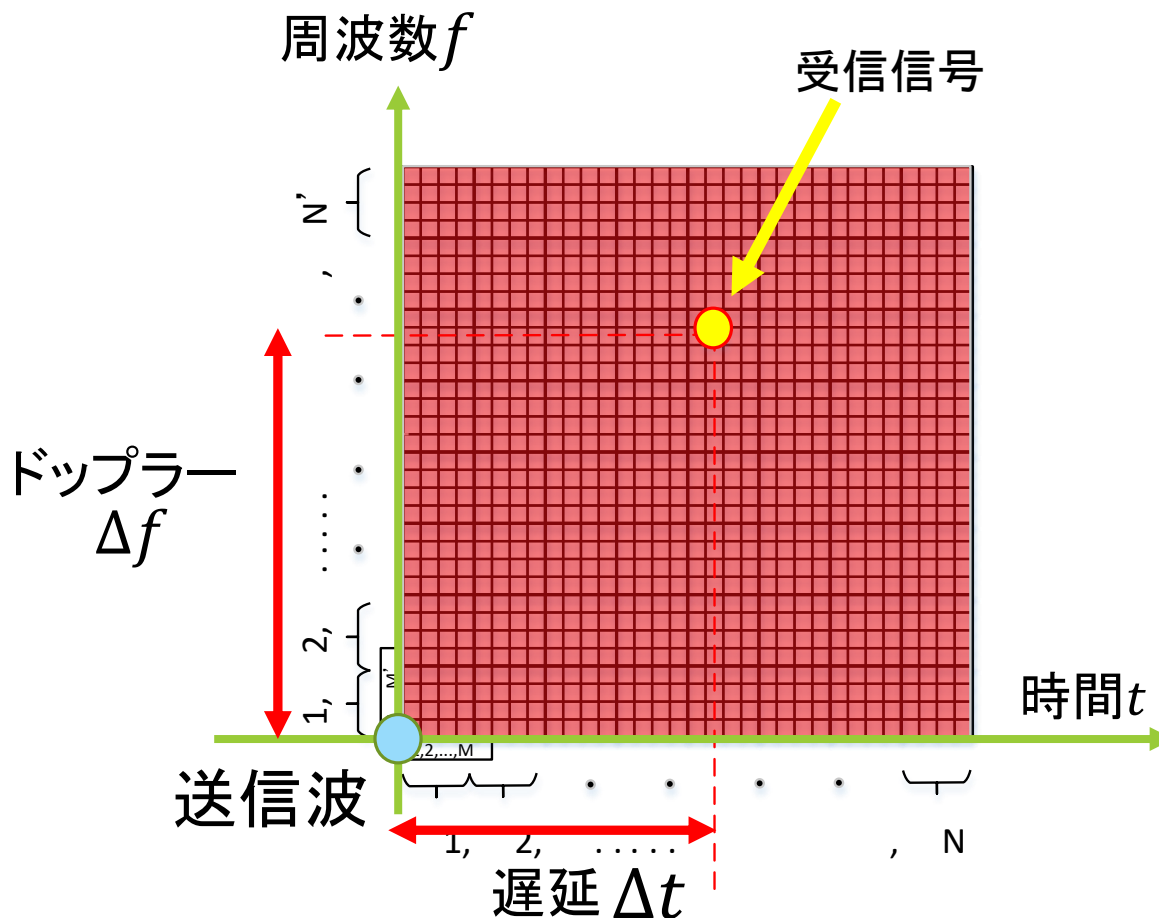


# 最尤推定

最も確からしい推定をするためには、送信した波形に対して、受信側で候補となる遅延 $\Delta t$ 、ドップラー $\Delta f$ を与えた波形を作り、受信信号と最も一致度の高い $(\Delta t, \Delta f)$ があれば、それをターゲットの推定距離 & 速度とするのがよい



## ところが本当に最適な解を求めるのは計算量的に大変



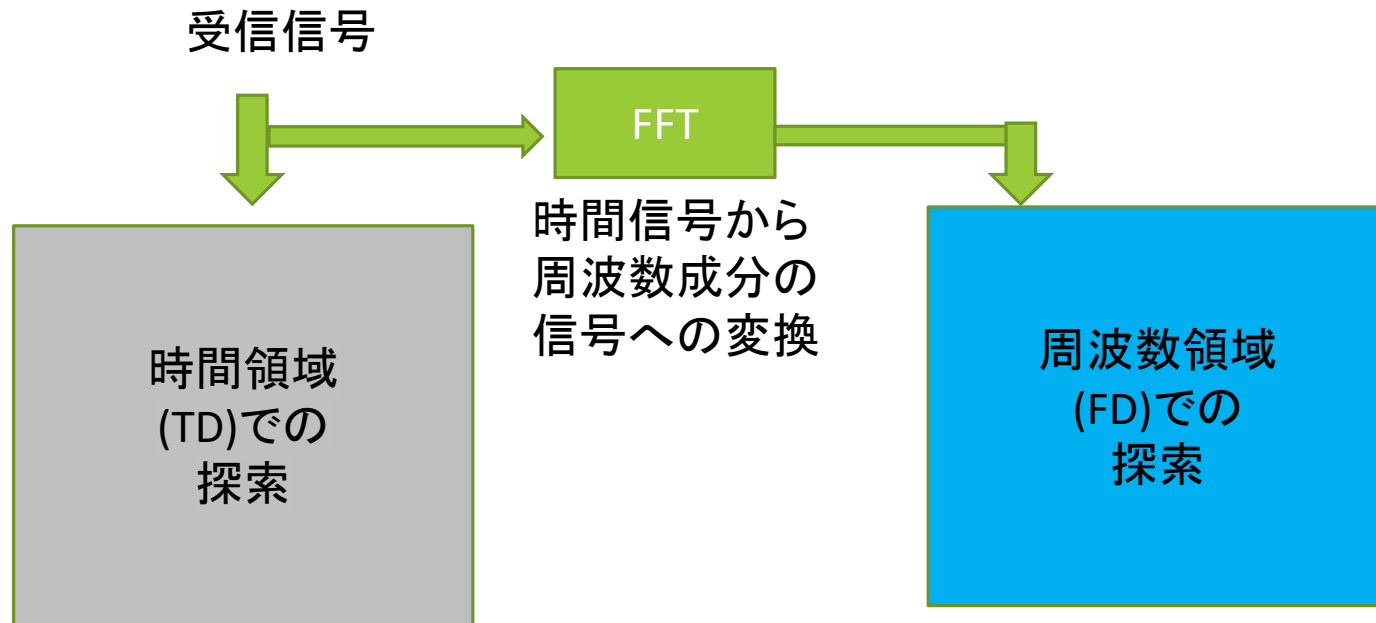
送信波形を、要求される分解能でちよつとずつ時間、周波数をずらして受信信号との相関をとらないといけない

それぞれの探索区間が  $N$  点あったとすると  $N^2$  回の相関を取って最もよくマッチするケースを割り出す必要がある

そのため方式によってはドップラーはほとんどないものと見なして推定するなどの便宜的な方法がとられていた

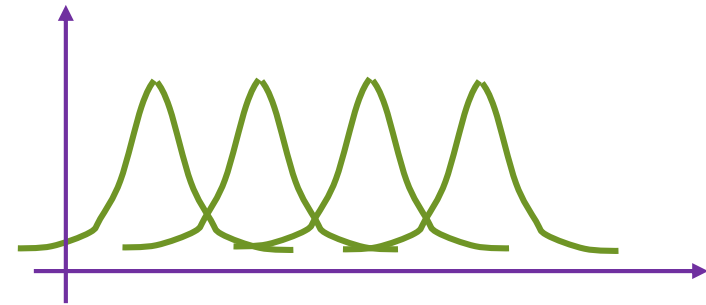
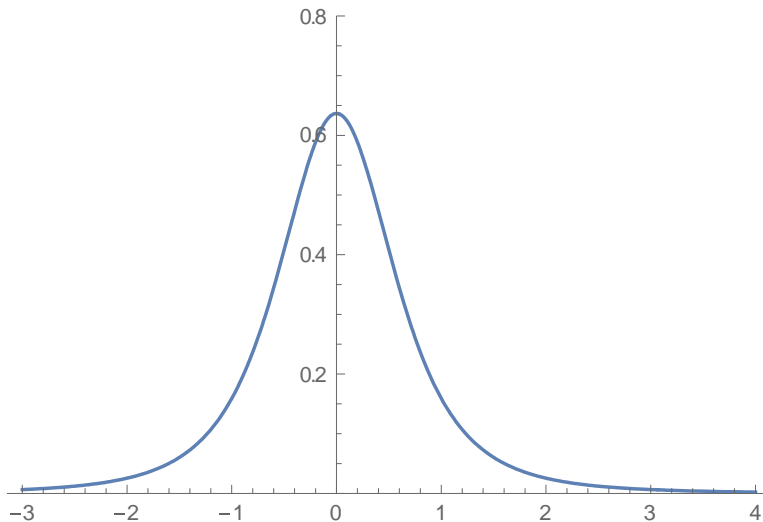
# 提案する新しいレーダ方式

時間軸(時間領域TD)でだけ探索するのではなく、周波数軸(周波数領域FD)でも探索を行い、両者の交互探索によって、ターゲットの( $\Delta t, \Delta f$ )を追い込んでゆく



# 時間領域/周波数領域で 分離して探索が可能となる技術

## ガウス波形を基本波形として採用



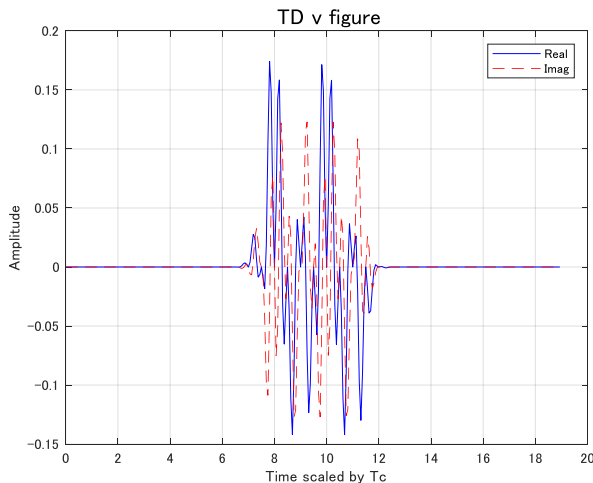
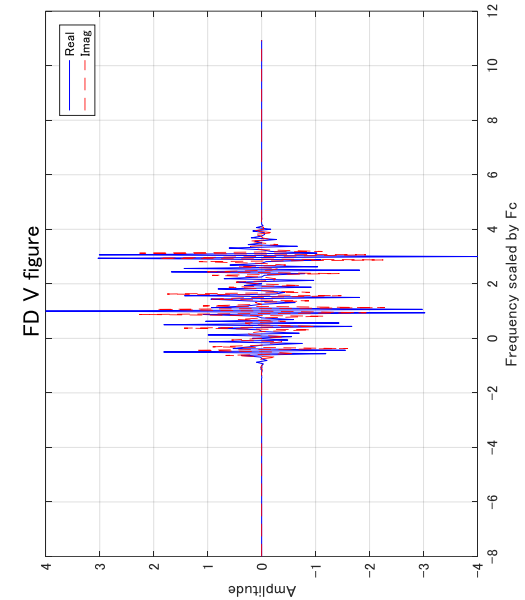
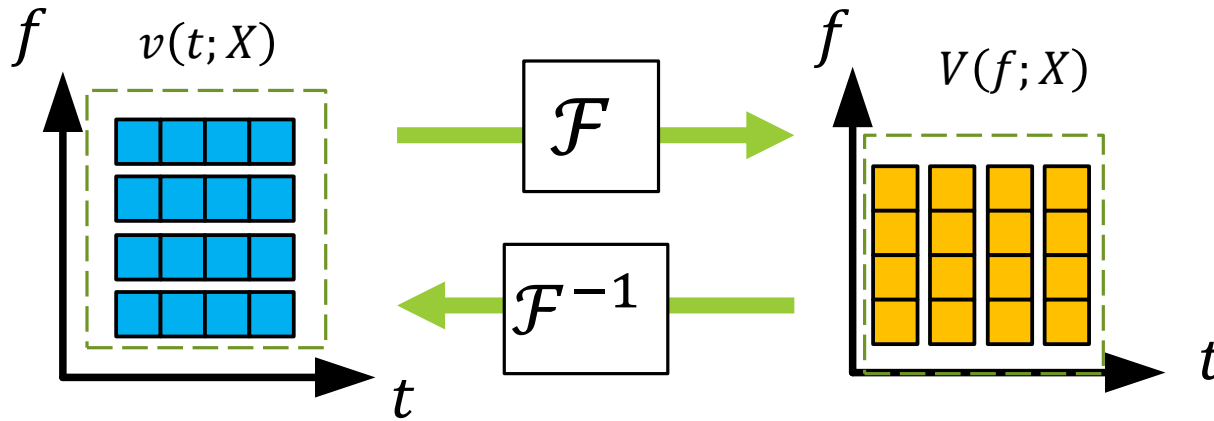
通信の世界では隣の  
信号に干渉を与えるので  
これまでほとんど使われて  
こなかった

ガウス波形を採用すると、相関の演算が、周波数領域と、時間領域で  
遅延、ドップラーを別々に推定してその積をみればよいことが数学的に示される

## ガウス波形を元に作られた送信信号の波形

TD

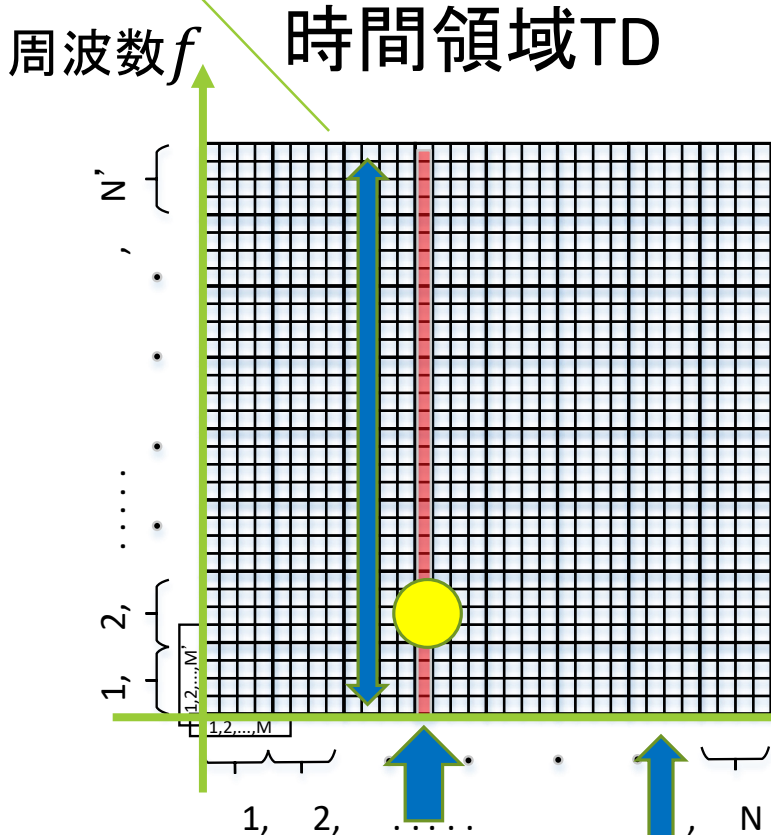
FD



時間領域(TD)での信号作成、周波数領域での信号作成にそれぞれ符号を用いる

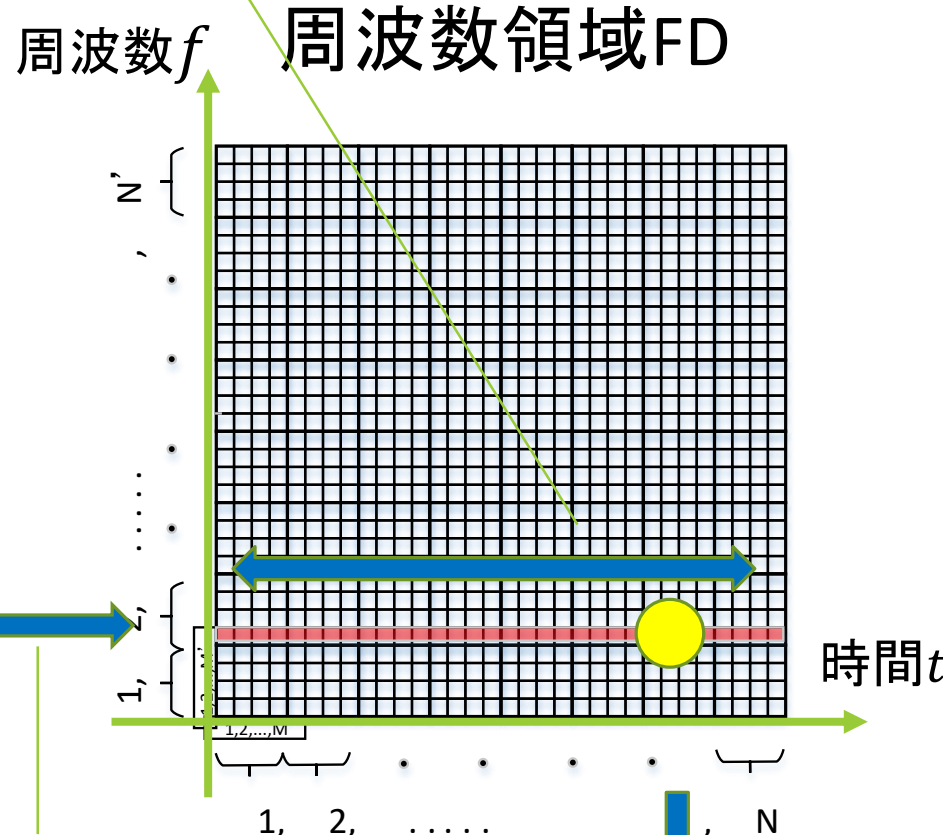
# 繰り返しによる探索演算

(2)この範囲で最も相関が高い  
ドップラーを求める(N'回演算)



(1)はじめに  
ある遅延を仮定

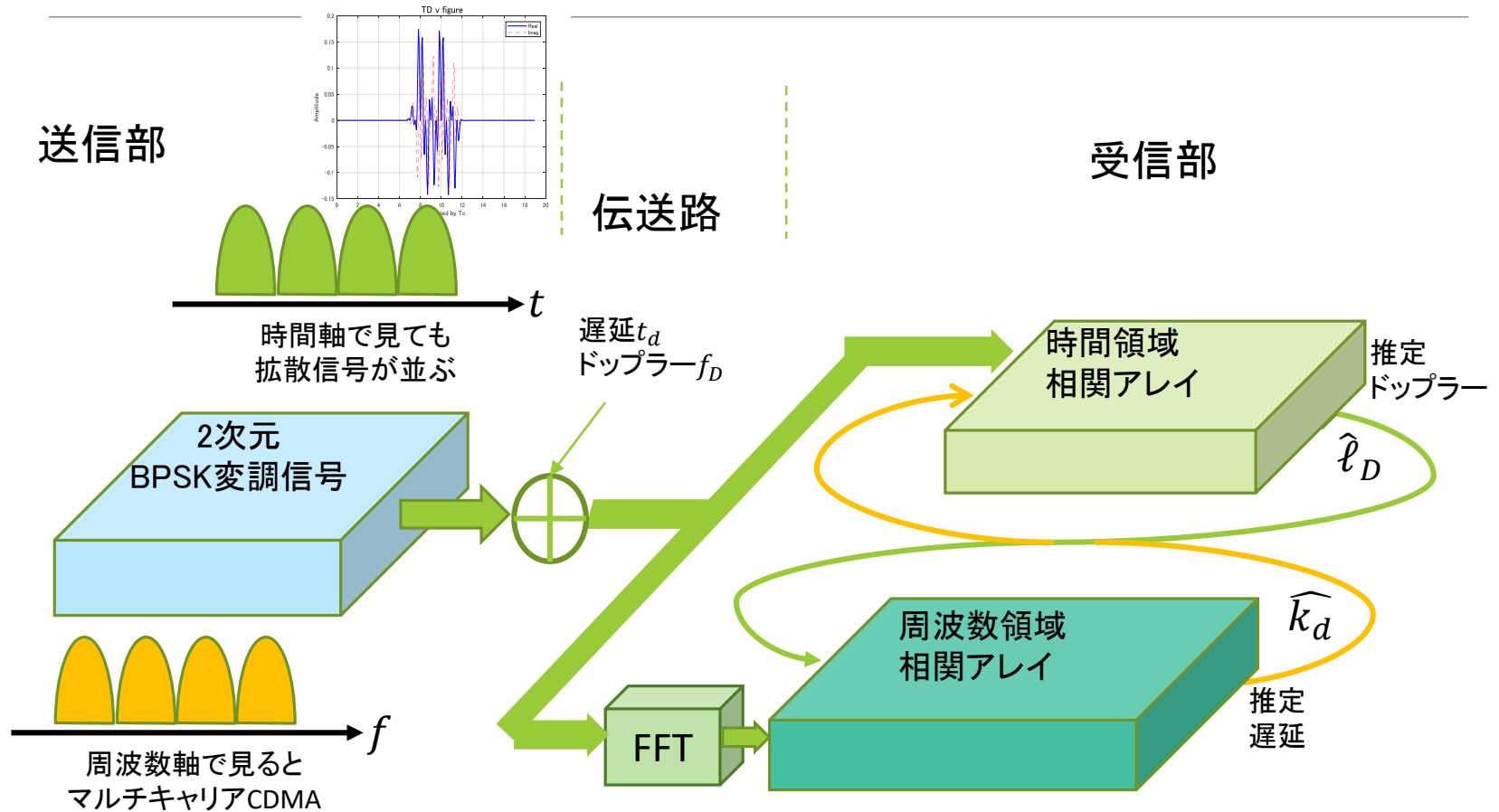
(4)この範囲で最も相関が高い  
ドップラーを求める(N回演算)



(3)得られた推定ドップラーを  
FDでの探索パラメータとする

(1)に戻る

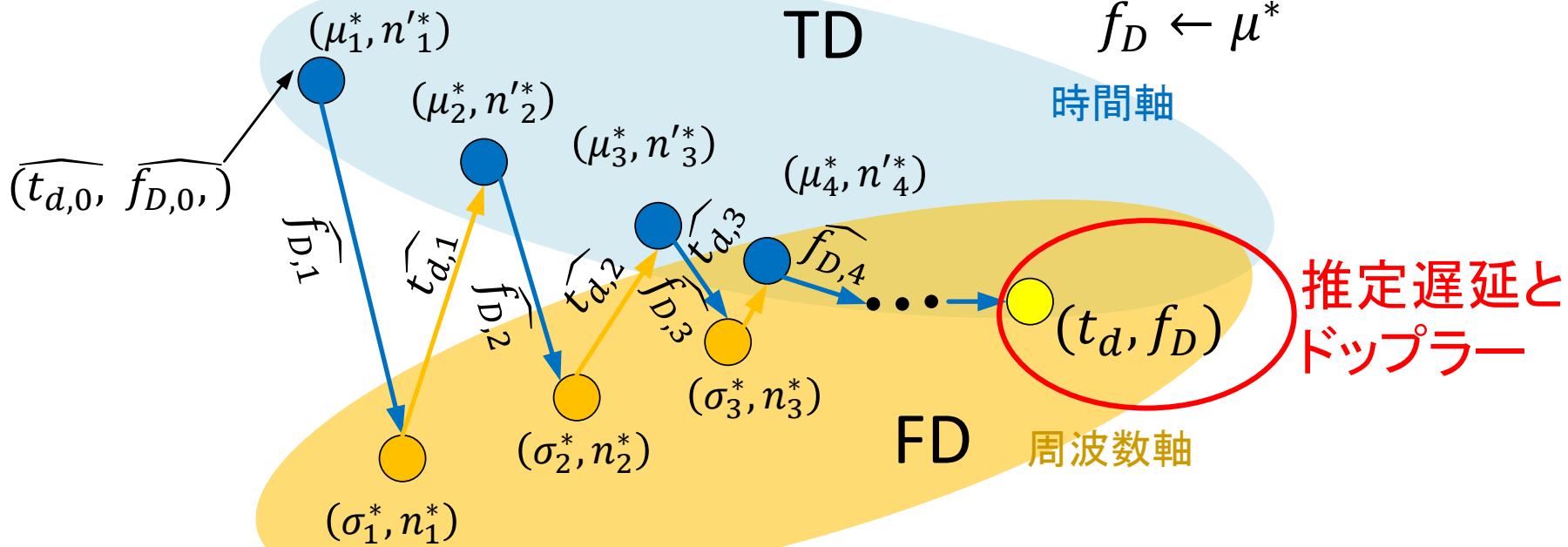
# システムの構成図



時間軸と周波数軸の2面からマッチングを交互に繰り返して、遅延とドップラーを追い込んでゆく

$$(\mu^*, n^*) = \arg \max_{\mu, n} \mathcal{R}[c_{\vec{p}, n}^{\text{TD}}(\mu; \hat{t}_d)]$$

$$\hat{f}_D \leftarrow \mu^*$$



$$(\sigma^*, n'^*) = \arg \max_{\sigma, n'} \mathcal{R}[C_{\vec{p}, n'}^{\text{FD}}(\sigma; \hat{f}_D)]$$

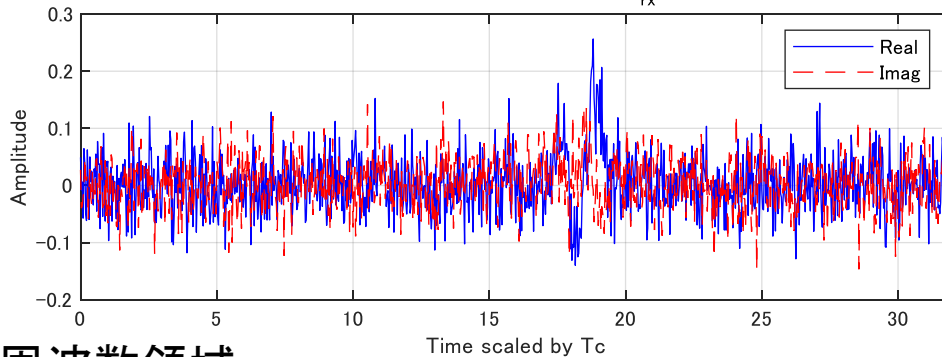
Von Neumannの交代射影アルゴリズムにより、  
複数回の繰り返して収束保証



# 計算機シミュレーションの例

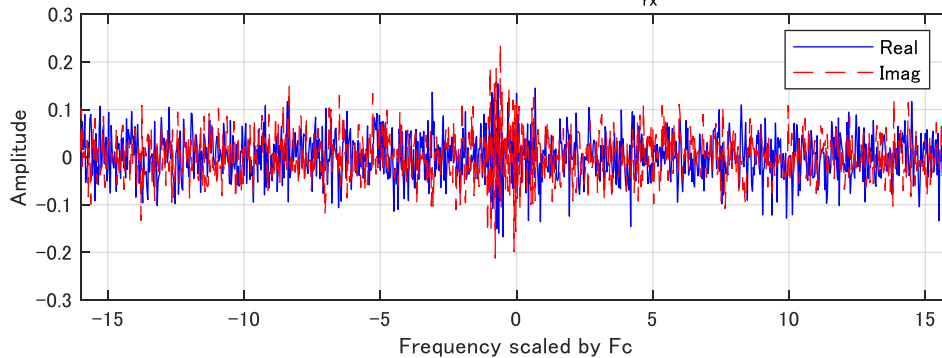
## 時間領域

伝送路を経たTD受信信号 $v_{rx}$

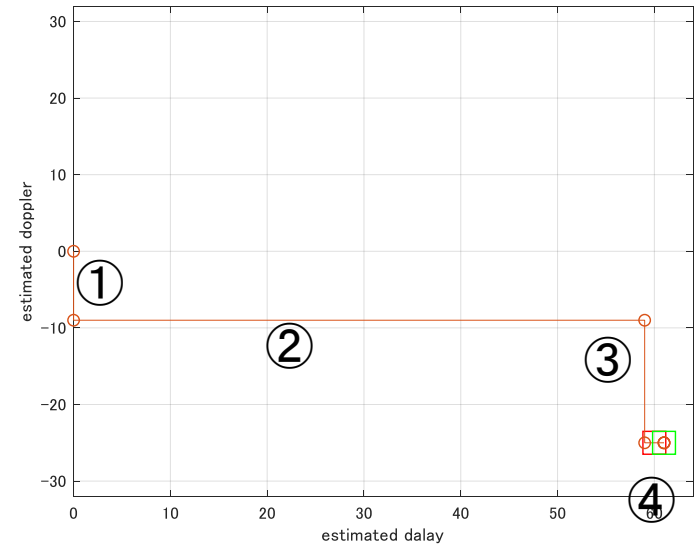


## 周波数領域

伝送路を経たFD受信信号 $V_{rx}$

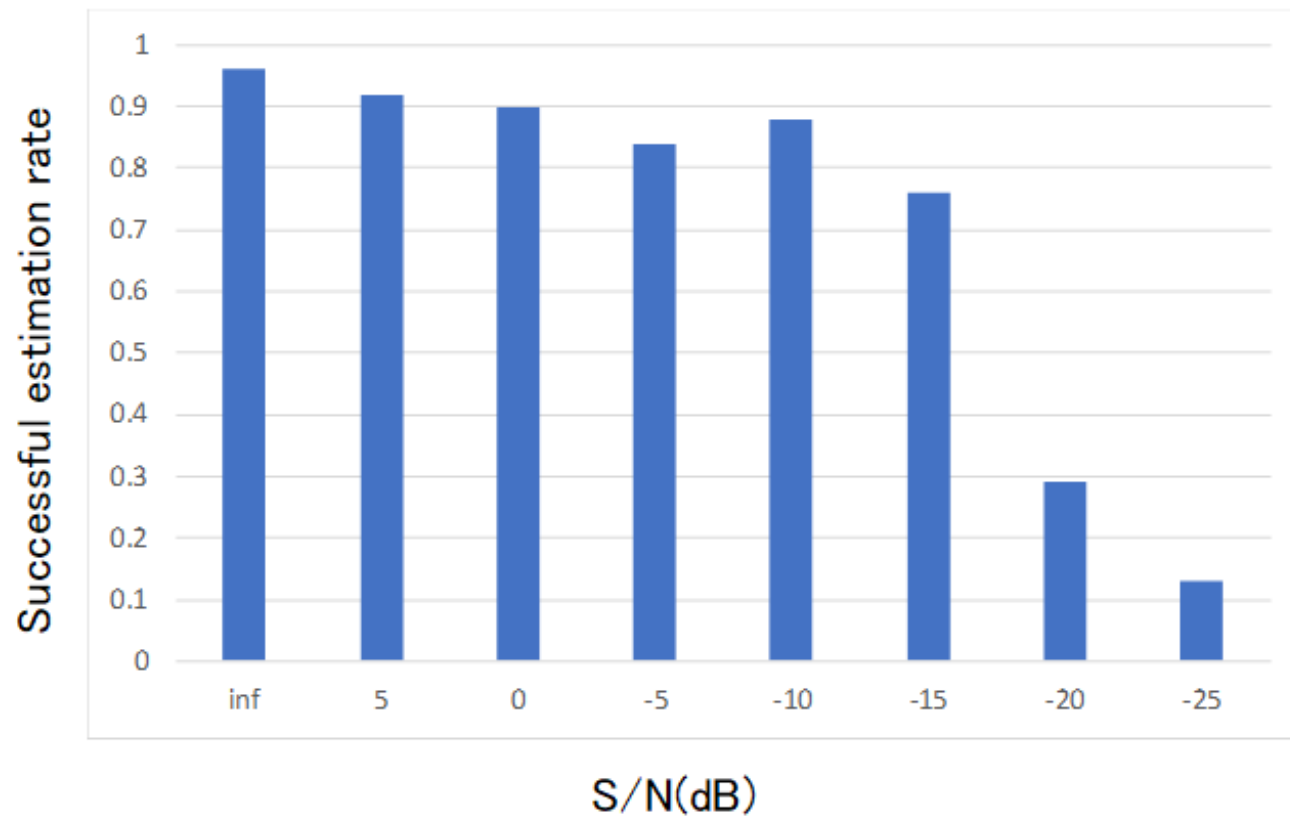


S/N=-8dB

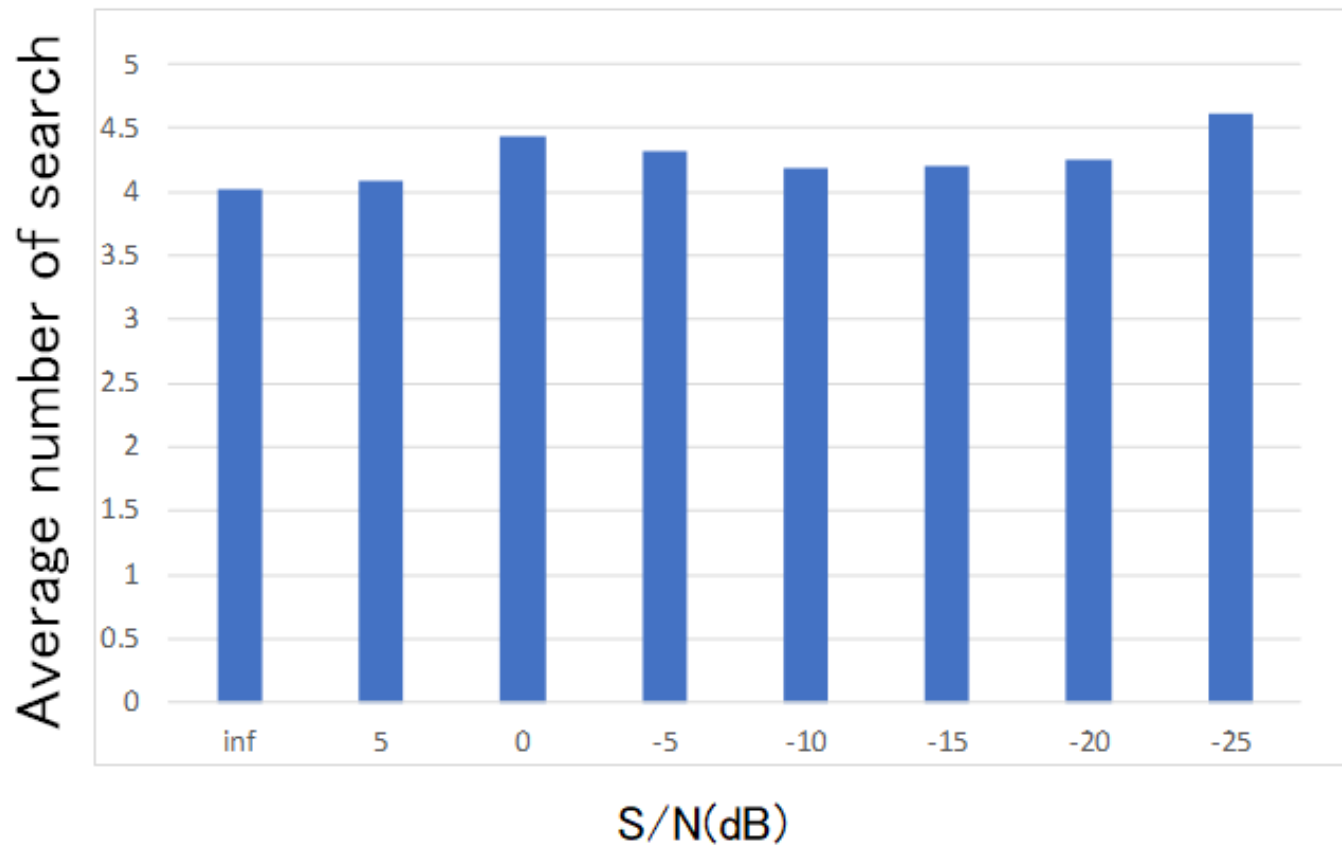


4回の探索でほぼターゲットの  
遅延、ドップラーを検出

# 正当率



# 平均計算回数



# 演算量の削減

---

通常の時間領域-周波数領域に亘る最尤の探索

- $N^2$  のオーダーの演算

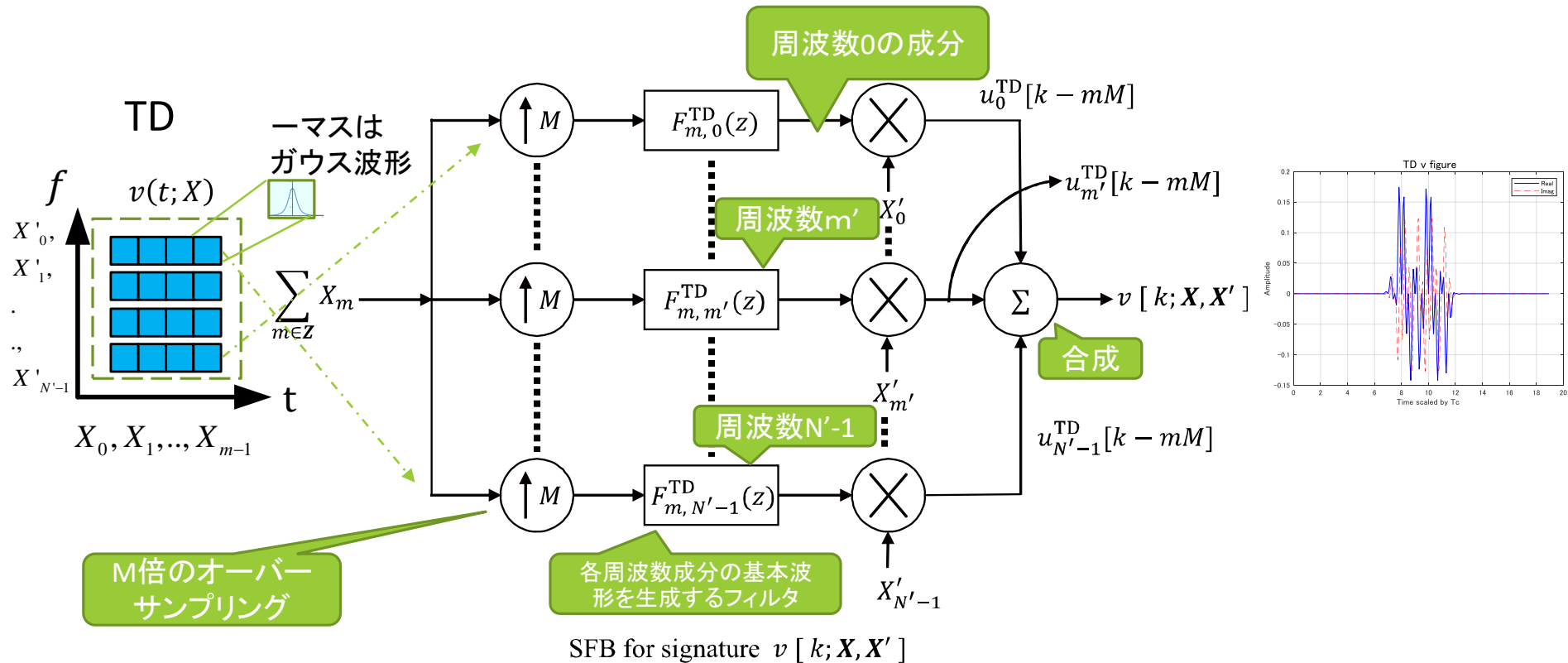
今回提案する最尤の探索

- $N + N'$  の複数回繰り返し

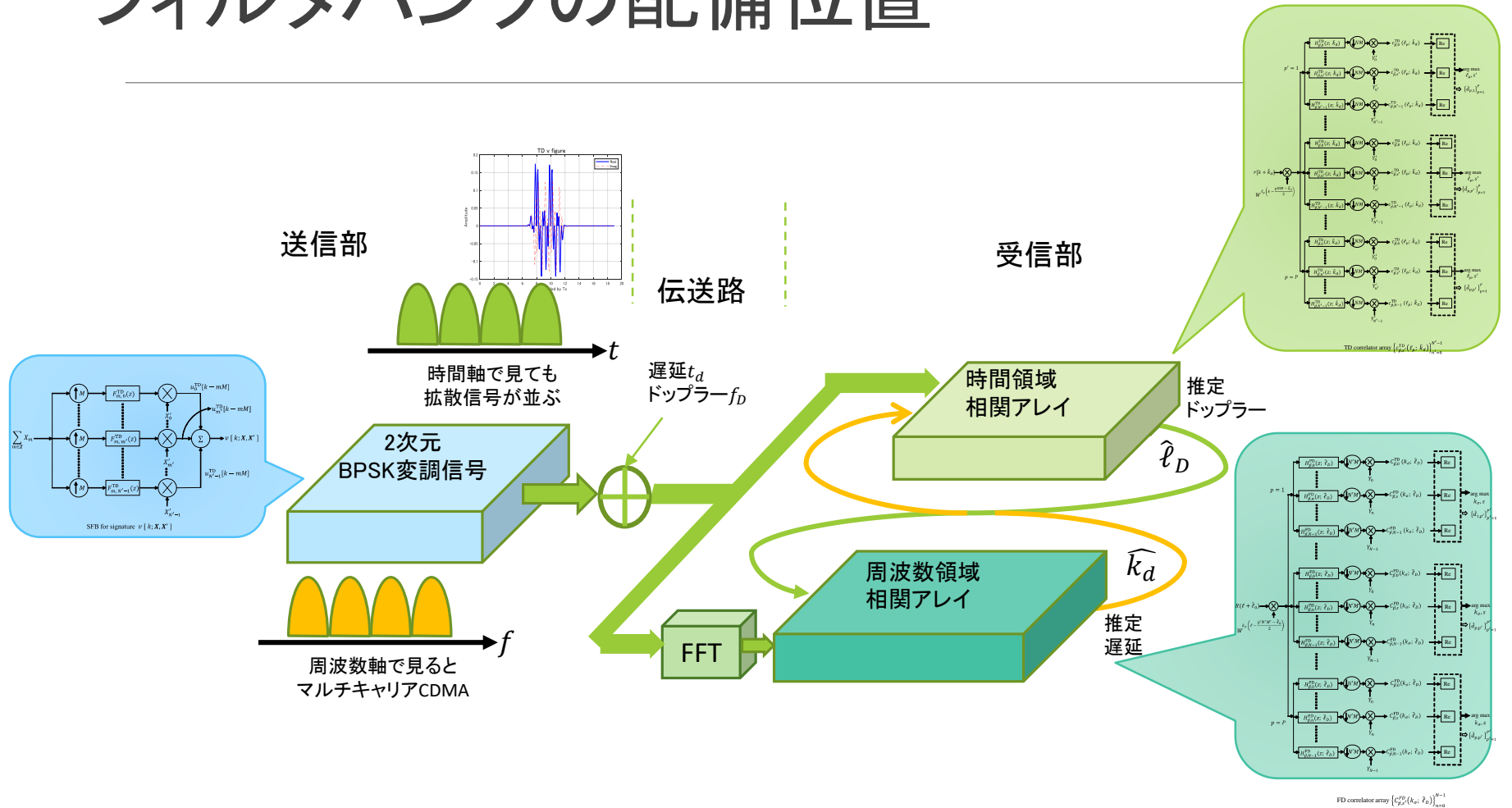
原理的に演算のオーダーが下がる

## 今回の特許の主眼:これらの信号生成&受信機を フィルタバンクを用い、システムティックにかつ並列処理で 実現する

並列に構成されたフィルタによって波形を効率的に生成する



## フィルタバンクの配備位置



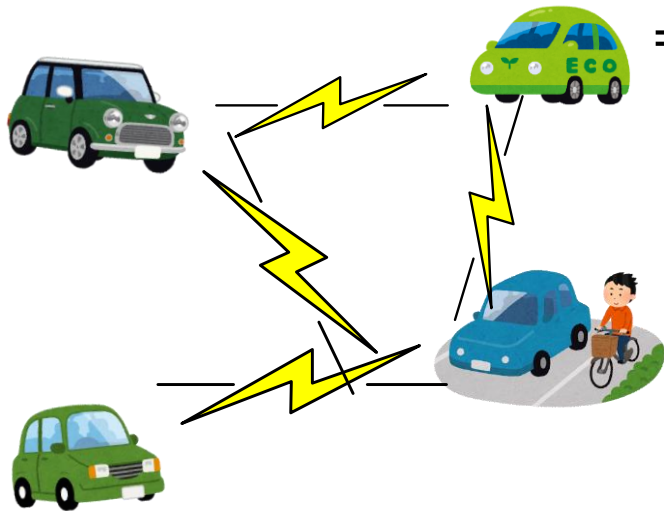
# 特許の効果

---

- ハードウェアもしくはDSP処理を想定したときに、組織的な並列処理が可能
- 遅延器列を配備するマルチレート構成をとることによって、クロック周波数を低減させることが可能

## 自動運転時代に向けた提案方式のメリット

自動運転時代には自動車のみならず数多くの移動物体（自転車、バイク、歩行者？）がレーダを発射して、他の移動物体を検知するようになるだろう



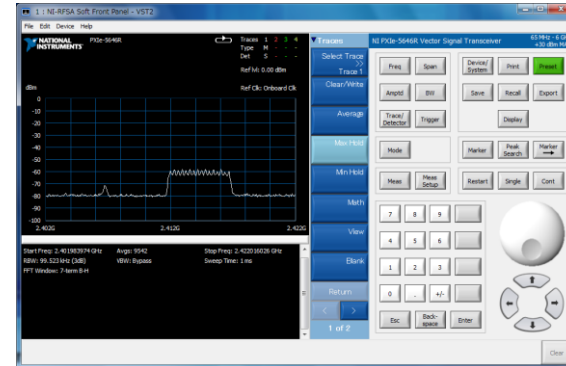
⇒ 電波を受けたとき自分が出した電波であることをちゃんと検知できる機能が必要

提案方式は、各自動車に固有の符号を与えることで他のレーダの電波と区別するのみならず、他の電波の影響を軽減することが可能



## 今後の予定と産学連携への期待

- ソフトウェア無線機を利用して実際に電波を用いた評価を実施予定



- DSPを用いた試作、特にレーダ技術を所有しておられる企業様と共同研究を通じて連携をはかり、ハードウェア規模・演算量を従来方式と比較すると同時に達成性能を評価し、実用化を加速したく考えております。

# 本技術に関する知的財産権

---

- 発明の名称: 推定装置、推定方法及びプログラム
- 出願番号: 特願2019-204327
- 出願人: 学校法人福岡大学、  
株式会社国際電気通信基礎技術研究所
- 発明者: 大橋 正良、 香田 徹

# 参考：米国の動向

---

Cohere社：OFDM (LTE)の波形に基づく、OTFSと呼ばれる遅延、ドップラー推定技術を開発、3GPPにも提案。

<https://www.cohere-technologies.com/>

ご清聴ありがとうございました

---

**お問い合わせ先**

福岡大学研究推進部産学官連携センター

TEL 092-871-6631

FAX 092-866-2308

E-mail [sanchi@adm.fukuoka-u.ac.jp](mailto:sanchi@adm.fukuoka-u.ac.jp)

Contact: 大橋 正良

本技術に係る研究開発は2019年度総務省SCOPE(受付番号195010001)の委託を受けたものです