

屋内測位・ナビゲーション技術

GPS電波の来ない建物内でも道案内

- 屋外から屋内へ シームレスナビ
- 屋内ナビはなぜ難しいか
- 屋内測位固有の技術紹介

国立情報学研究所 市民講座(第1回) 2018年7月10日

国立情報学研究所

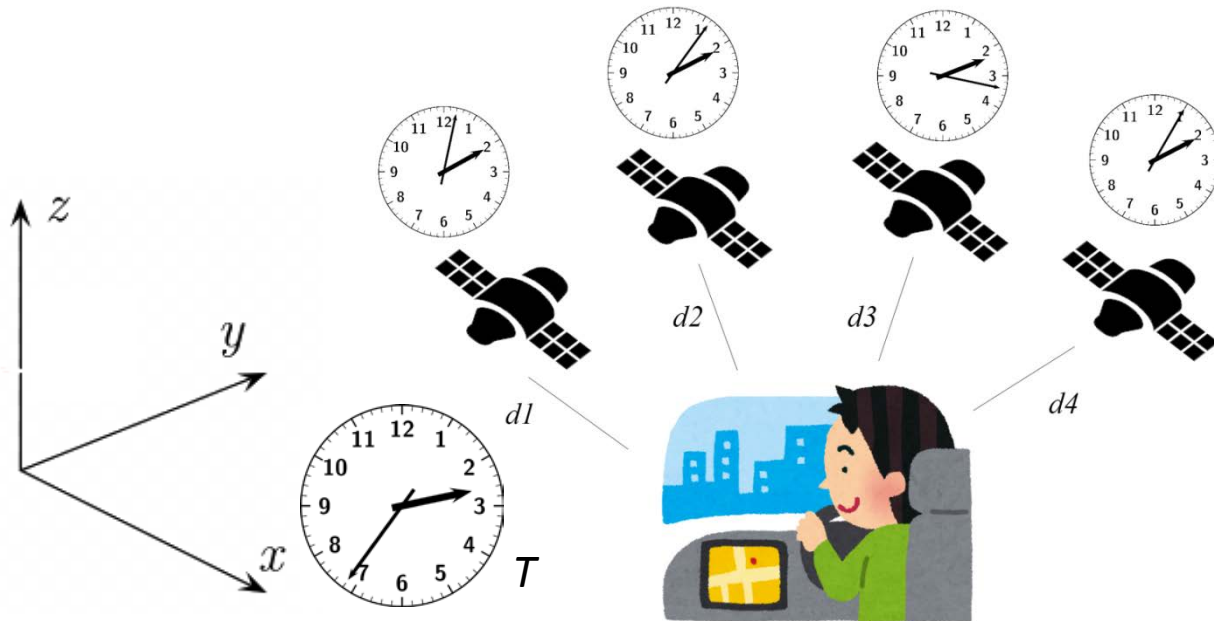
教授 橋爪宏達

has@nii.ac.jp



ドローン(自律飛行)、自動運転車
ナビゲーション技術は必須
自身の位置をどう知るか
GPS (Global Positioning System)
全地球測位システム(→GNSSへ発展)

GPSの原理



- GPS衛星は空飛ぶ時計（原子時計）
- 各時刻の衛星軌道位置は既知（アルマナック）
- 4つの時刻から、「正しい時刻」「緯度」「経度」「高度」を4未知数とした方程式を解く
- 測位には最低 4衛星必要
- 精度の維持には 10衛星近く利用できるとよい(数メートル)の誤差

人工衛星による測位システム

1970年代から計画開始(米国・軍事)

1993年に24衛星を展開

2000年に民間開放(人工的な誤差廃止)

- 米国 (GPS) 32機
 - ロシア (GLONASS) 24機
 - EU (Galileo) 12機
 - 中国 (北斗 BEIDOU) 23機
- 2017年12月

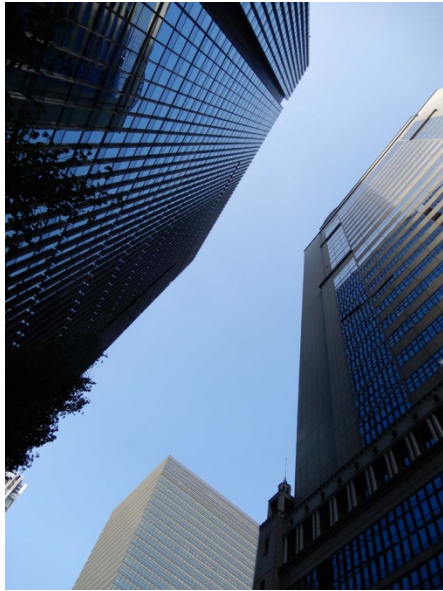
GNSS (Global Navigation Satellite System) と総称

右は7月7日のGNSS受信例

上空(地平線上)にある35機中26機を使用して
測位 (米国 11 ロシア 8 EU 6 日本 1)

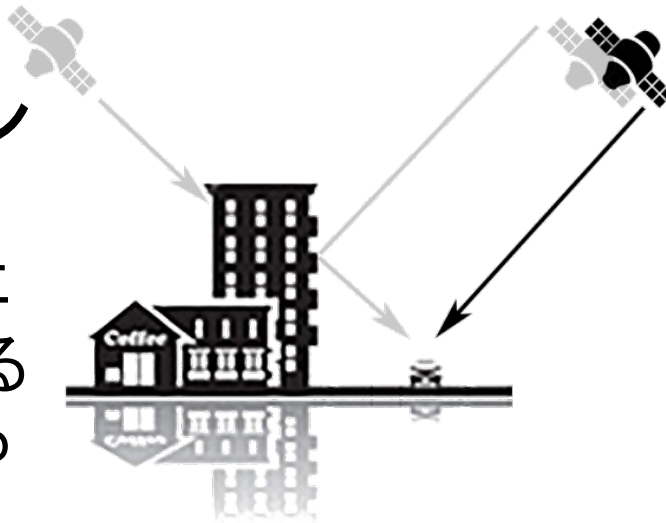
ビルの谷間

高層ビルの近辺ではGPSの精度は急激に悪化し、正しい位置を表示できない



オクルージョン

衛星電波がビルに遮られ、利用できる衛星数が減少する



マルチパス

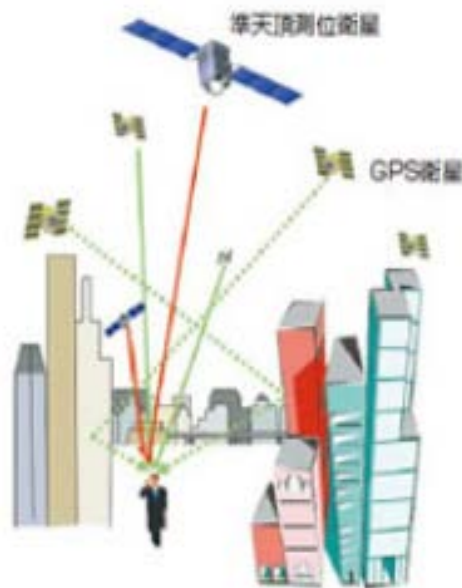
衛星からの直接電波とビル反射波が混じりあい、衛星の見かけ位置が変化する

準天頂衛星システム (QZSS)



準天頂衛星初号機「みちびき」
JAXA 2010年に打ち上げ

- 2017年に3機打ち上げ(4機体制)
- 2020に初号機の代替衛星を打ち上げ
- 2023年に3機追加(7機体制)
- インドも2016年に準天頂衛星を打ち上げ(IRNSS)



長時間、天頂付近にとどまるため、
GPSを補完して測位精度を改善できる

引用 内閣府「みちびき」技術資料

疑似衛星 (pseudolite)

Pseudolite (疑似GPS)

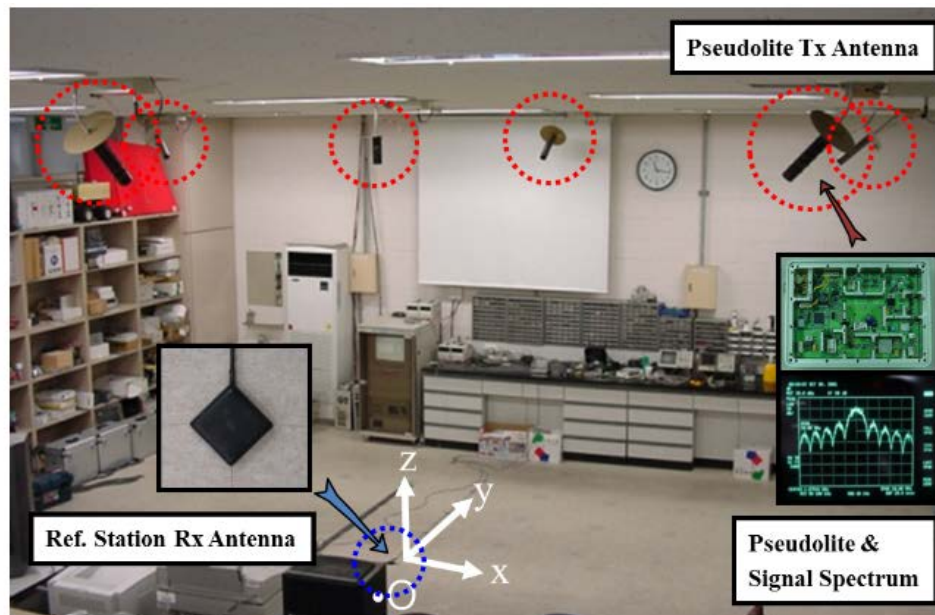
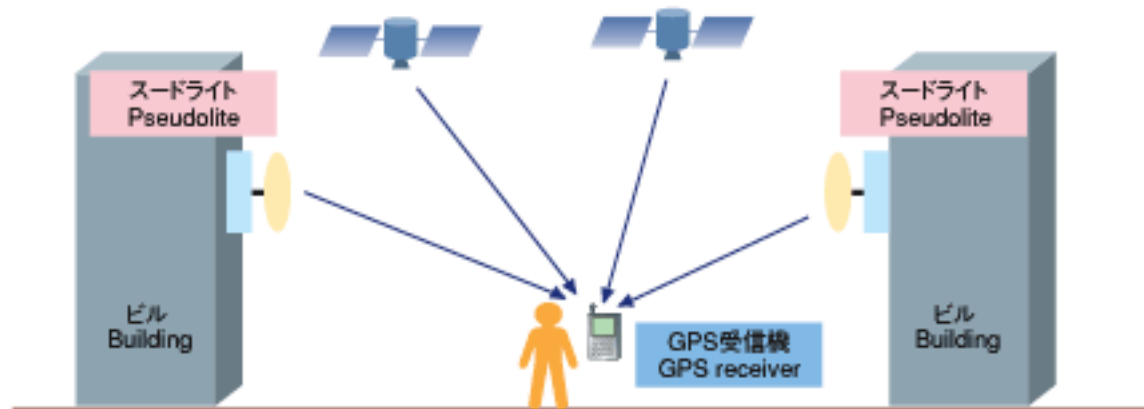


Figure 4, Pseudolite Indoor Navigation System in Seoul Nat'l Univ.

Pseudoliteの屋内利用実験の例(ソウル大学)

屋内でもGPSを使えるとよいのだが...

Source: GNSS LABORATORY
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY 7

屋内での電波測位には、ひどい マルチパスがつきまとう

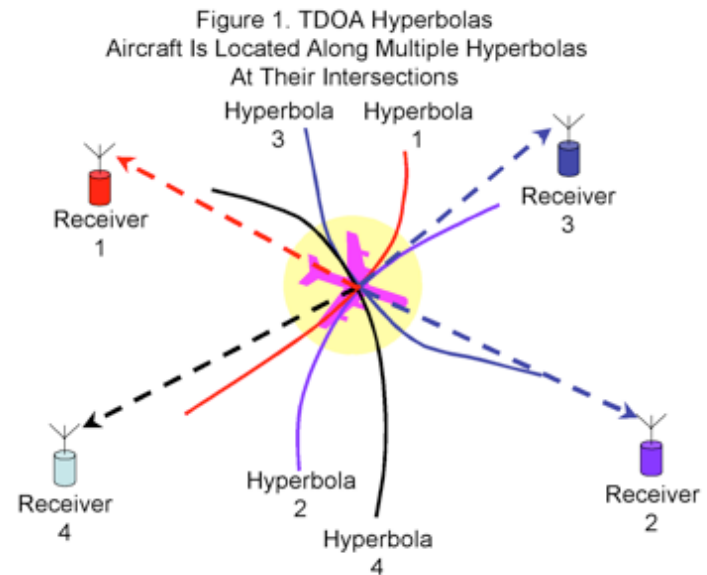
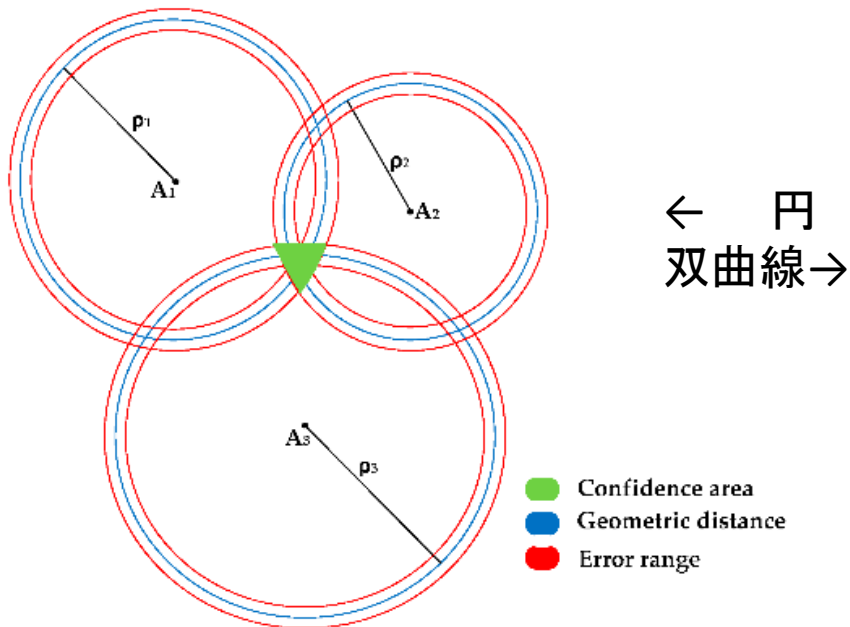
映画 燃えよドラゴン（1973）にあった
鏡の部屋の決闘のようなもの
どこに信号源があるか、わからない

屋内測位（ナビゲーション）の 困 難

- GPS電波は屋内には入らず、別の信号を必要とする
- 壁や調度品は電波などの信号の反射体であり、マルチパスにより、鏡の部屋にいるような混乱を生じる
- 屋外より一般に複雑である
- 家具調度の移動により、形状は変動しやすい
- 複数階層からなる3次元構造がある
- しかし屋外より高い計測・ナビゲーション精度を要求される

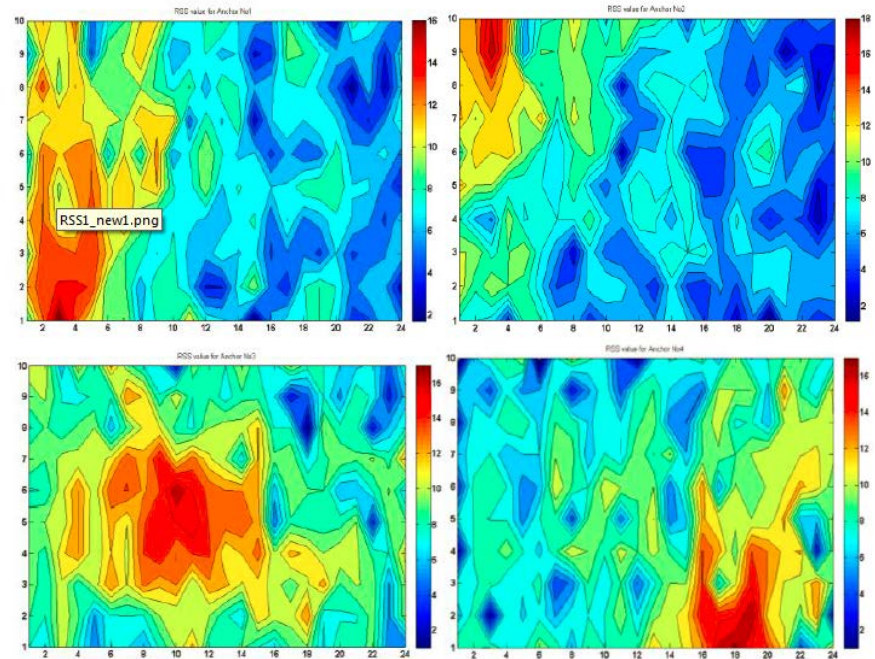
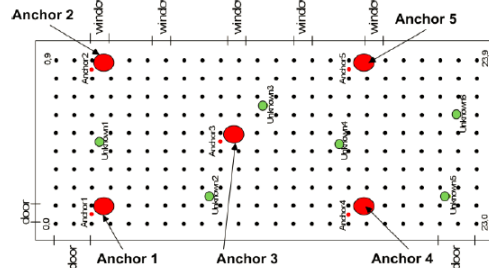
多点測量 (multilateration)

- 電波(毎秒30万キロ)ないし音波(毎秒340メートル)の伝搬遅延計測(TOF)による
- 位置のわかった信号源(ビーコン、マーカールないしアンカー)を複数個使う
- 絶対距離のわかる場合(右: TOA)と距離差だけわかる場合(左: TDOA)の2つの計測原理がある
- 屋内で数センチメートルの測位精度を達成できる場合がある



TOF: Time of Flight TOA: Time of Arrival TDOA: Time Difference of Arrival

受信信号強度法 (RSSI) Reciver Signal Strength Indicator



実験した部屋(4つのアンカー送信機を配置)と、各アンカーの信号強度

- 信号源から離れると強度は弱くなるという、素朴な原理による
- 電波や音波を使用できる
- 特に無線LANのアクセスポイントと使うとオフィスでは手軽に利用可能
- オフィス家具などで変動するため事前に強度を測定して地図をつくる(フィンガープリンティング)
- 人が歩くだけで変わる
- 一般に数メートルの精度(どの部屋にいるか、わかる、というくらい)

建物の帯磁パターンによる

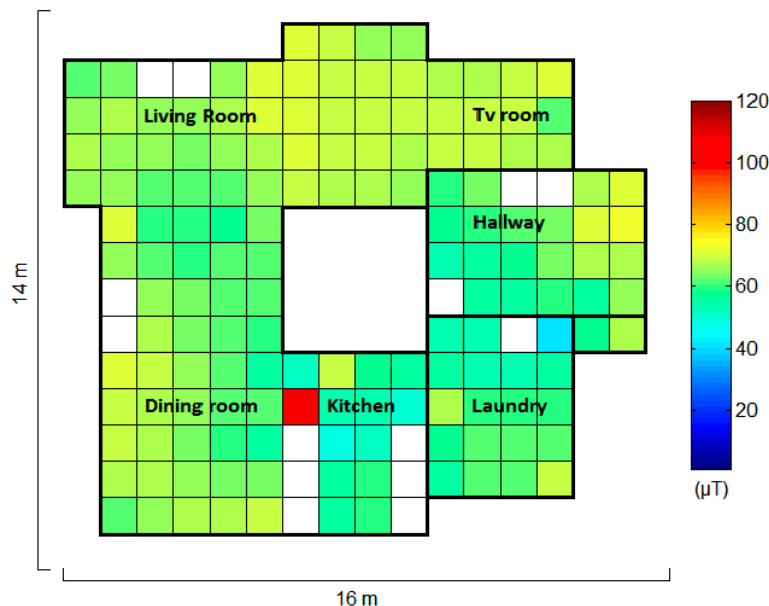


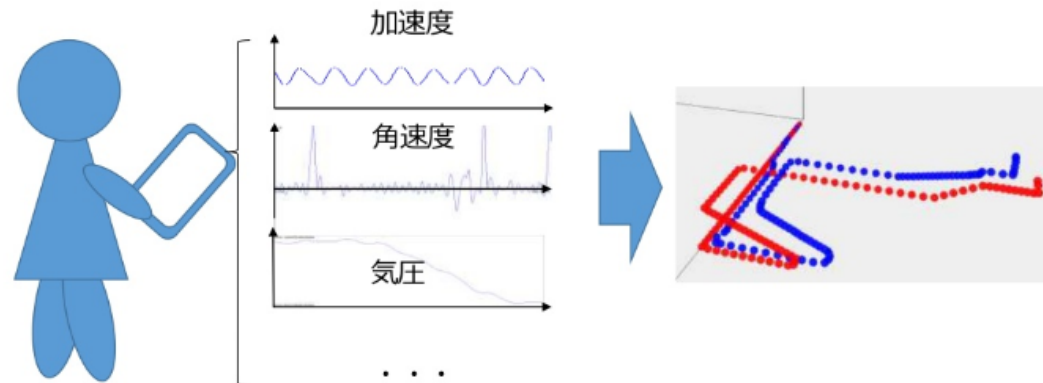
Figure 5. Magnetic flux density fingerprint ground floor suburban house. A big metal stove was located between the dining room and the kitchen. A high magnetic flux density was measured at that location (red square)

D. Vandermeulen他
Indoor localization Using
a Magnetic Flux Dencity
Map of a Building
AMBIENT2013 より

- 建物内部は、地磁気のほか鉄骨や什器による特有の地場パターン(方向と強度)をもつ
- パターンをフィンガープリントしておき、計測と照合する
- 歩いた経路、現在位置などわかる(人工知能技術との組み合わせ)
- スマホに地磁気センサーが内蔵されて、にわかに注目
- 地場パターンの安定性は未知数

スマホの力学センサーによる 自律航法

PDR(Pedestrian Dead-Reckoning)



名古屋大学 河口先生の資料より (UbiComp学会のPDRチャレンジ)

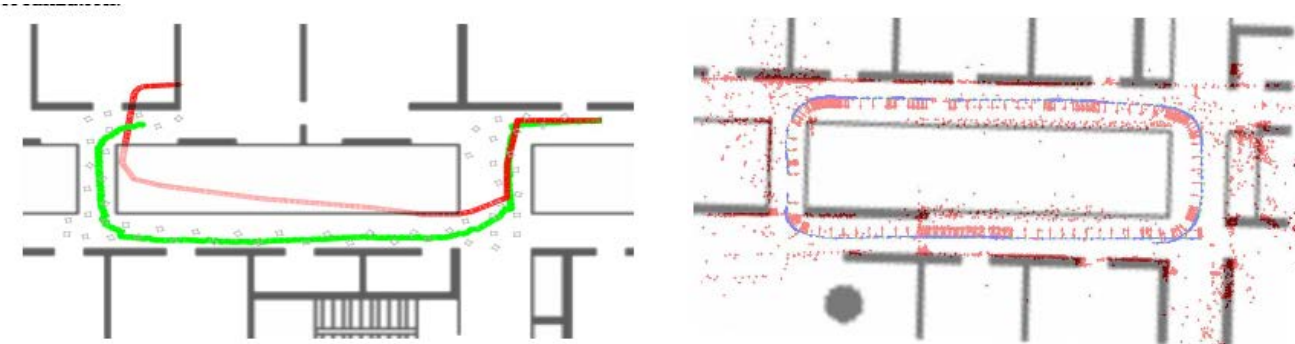
- 期待される精度は 200メートル歩いて数メートル程度
- ときどき、位置のわかっているマーカーと照合して校正する(ground truth)

ドコモ地図ナビ

- 2015年～
- docomoスマホ向け地図アプリだが屋内ナビのサービスあり(有料/月額300円)
- 全国590か所(主要駅、空港、ショッピングセンターや地下街)で利用可能(地図保有)
- 地上から歩きだし、屋内は自律航法でガイド

SLAM (地図の自動生成)

Simultaneous Localization And Mapping



多数の歩行者測位結果を集計して(ロボットを能動的に動きまわらせることもある)環境地図を自動的に作る研究

このほか、レーザー光線を使う建物内部図生成や、建物設計図からナビゲーション地図を合成する研究などもある

地図はナビゲーション応用の基本

iBeacon



(a) Estimote [14].



(b) Kontakt [15].



(c) Glimworm [16].

Fig. 2. Beacons used in the experiments.

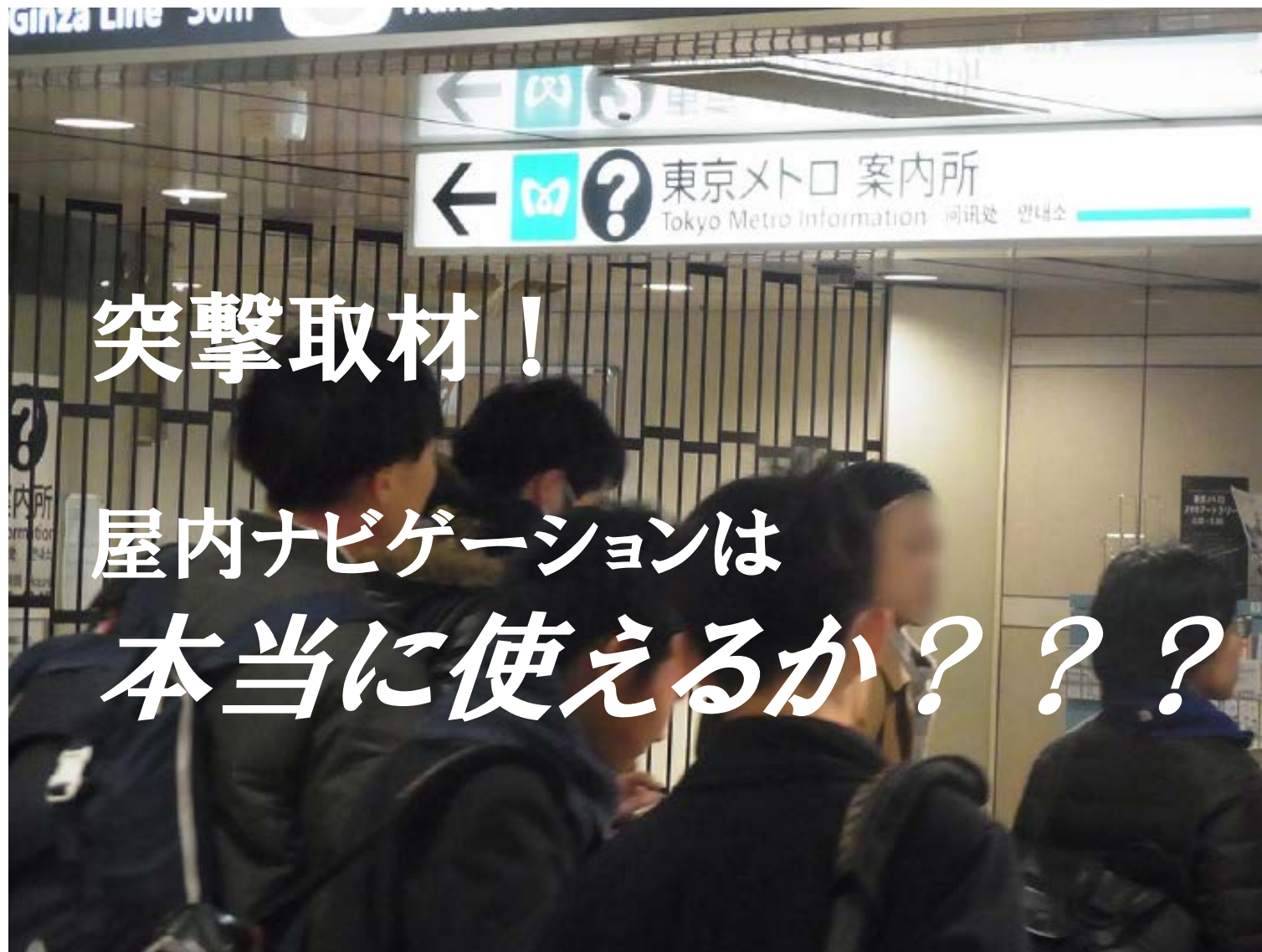
- Appleが 2013年に商品化
- 低電力Bluetoothによるビーコン(RSSI)
- iPhoneで使えるほか、仕様公開で誰でも作れる/応用開発できる
- 一台あたり1,000円~2,000円
- 数メートル以内への近接を感知
- ビーコン側でも顧客情報を収集可能(双方向通信)

A Mackey他

Performance Evaluation
of Beacons for Indoor
Localization in Smart
Buildings

2017 GlobalSIP より

鳴り物入りで登場の割に、普及はいまひとつか...。今後に期待



AIの画像認識を使用：

スマホをかざして道案内 東京メトロが実証実験

東京メトロが、NTTグループのAI「corevo」を活用した実証実験を開始する。画像認識を用い、構内図から位置情報を取得。ナビゲーションサービスにつなげるという。

[ITmedia]

- メトロ表参道駅で実験
(2017年 2月～3月)
- 目標までの経路表示?
- NTTグループの画像認識
corevo技術を利用



[ソフトバンクがつくった大学、ご存知ですか？入学金0円、通学不要でITが学べる](#)

[東洋経済オンライン対談：コンピュータの進化は、人間の思考さえも自動化するのか](#)

東京地下鉄（東京メトロ）は1月31日、NTTグループのAI（人工知能）関連技術「corevo」を活用した駅構内ナビゲーションサービス「かざして道案内」の実証実験を開始すると発表した。2月1日～3月26日にかけて、表参道駅（東京都港区）内で実施する。

同サービスの利用者は東京メトロの公式アプリに駅周辺の目的地を入力後、アプリ内のカメラで駅構内の案内看板を撮影すると、corevoの画像認識技術「アングルフリー物体検索技術」によって現在地と方位を取得。目的地までのルートナビゲーションを受けられる。

Itmedia 2017/02/01

<http://www.itmedia.co.jp/business/articles/1702/01/news148.html>



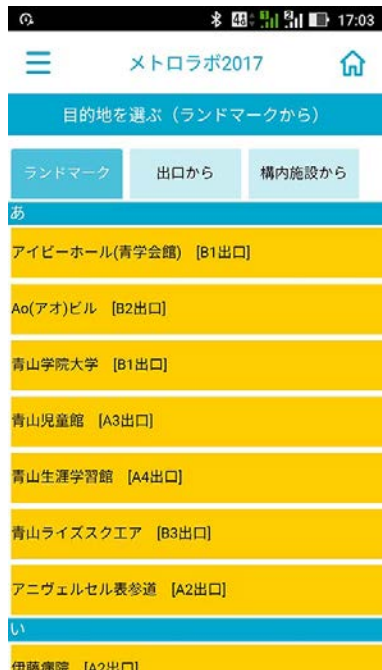
「かざして道案内」のイメージ

やっとみつけたポスター

案内所の人も、だれも知らない...



1 目的地を選んで

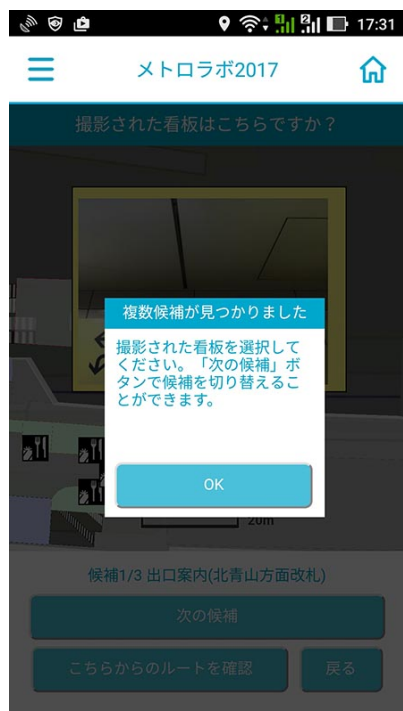


2 案内板を撮影



3 歩きだし経路を表示
(間違いだった!)

4 よく見れば、案内板位置が
不明(選択あり)

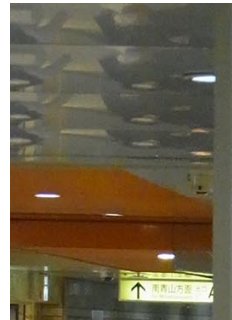
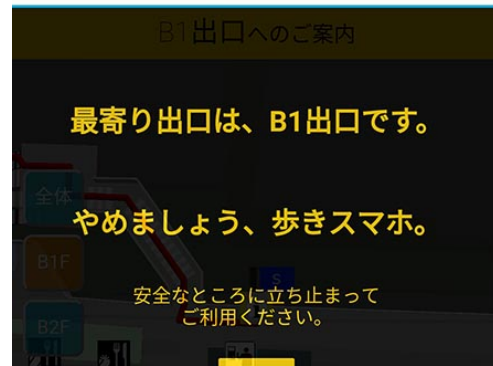


5 配置図とよく見比べて選択
(配置図の位置わかるなら
苦労ないのでは?)

6 正しい(と思われる)
歩きだし方向を表示



メトララボ2017



道案内してくれない！

けっきょく通常の表示を
たよりに目的出口へ...

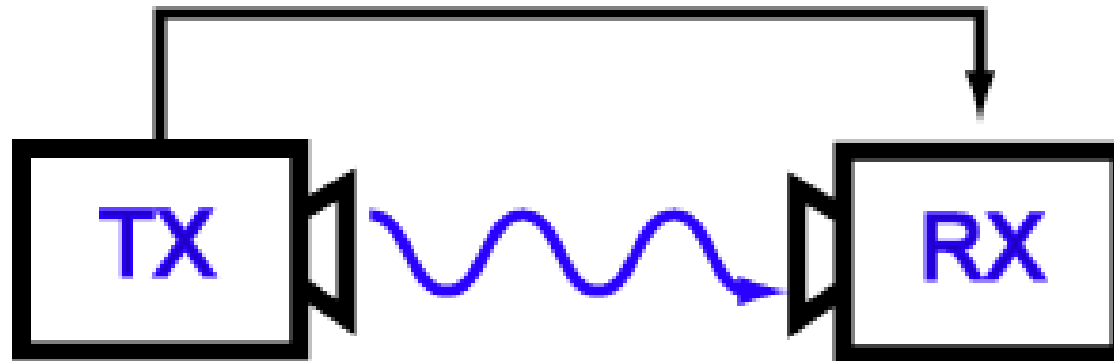




外に出れば
通常のGPSナビに接続してくれます。
でも電池消耗は激しかった...



(超)音波による伝搬遅延(TOF)計測



$$\text{距離} = - (\text{送信時刻} - \text{受信時刻}) / \text{音速}$$

受信波形のゆがみは不可避で
発生→正確な距離測定を困難に
accuracy ~ 10 cm.

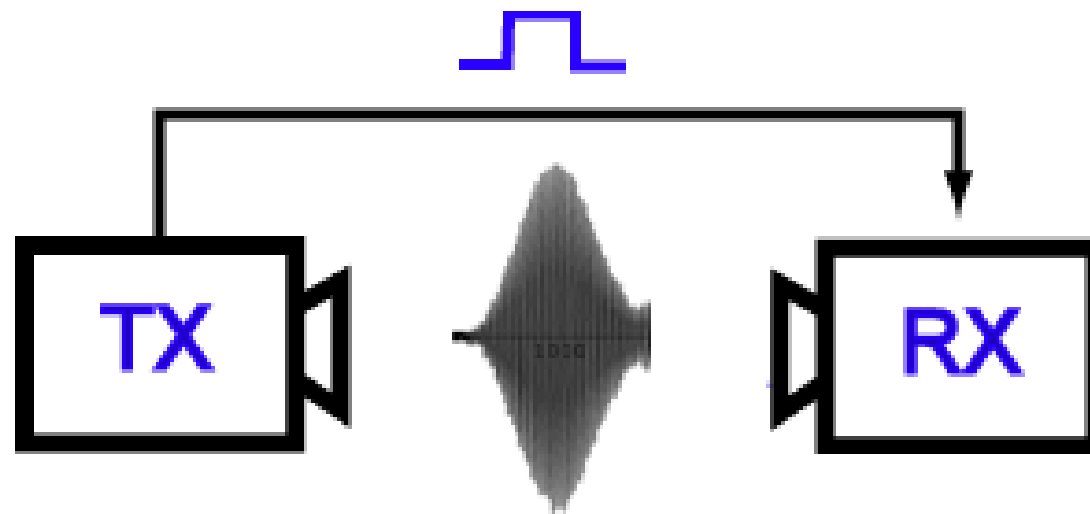
($f = 40\text{kHz}$, $\lambda = 8.5\text{mm}$)



送信

受信

位相一致法 = われわれの発明した 音響計測法

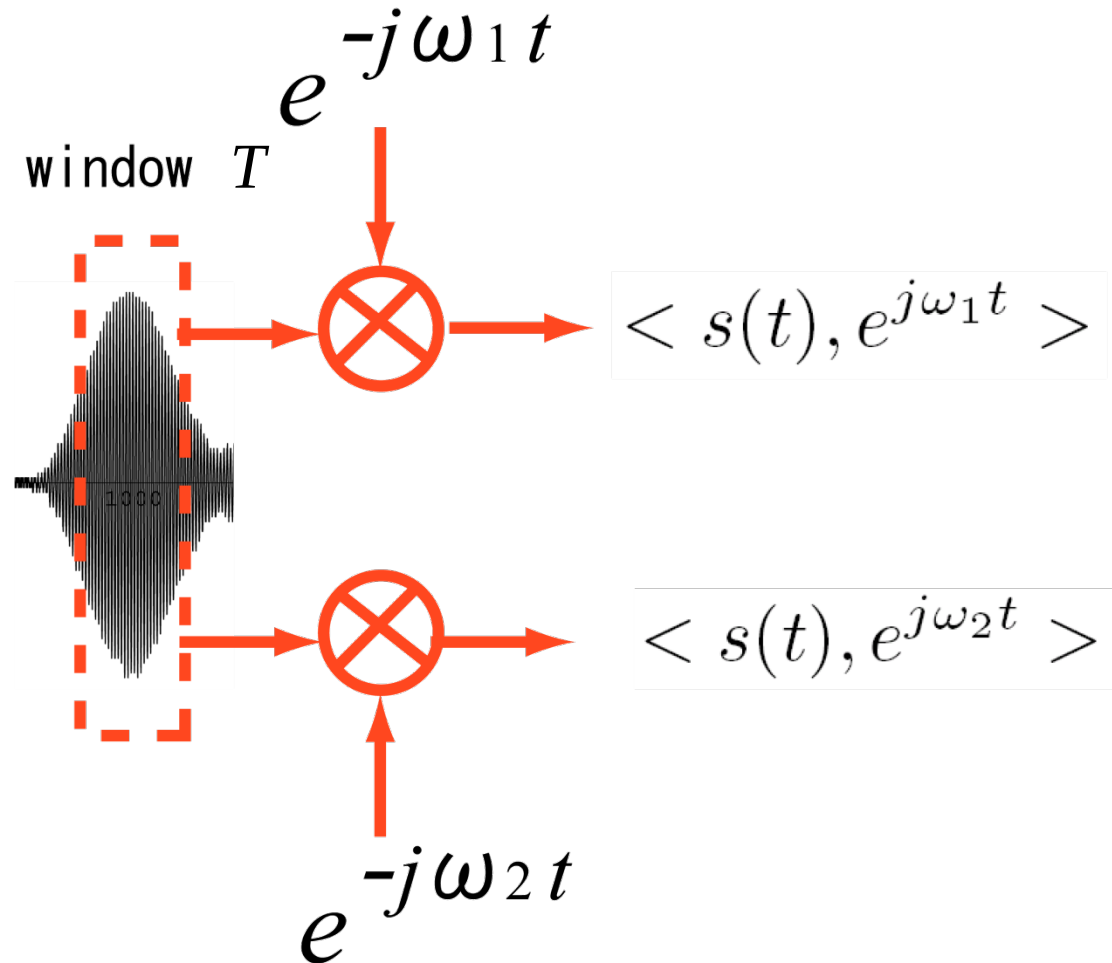


2mS
Sync pattern = $f_1 + f_2$
(39.75kHz+40.25kHz)

はじめからゆがんだ
波形をつかって、波形
の腹 = いちばん振幅
の大きい場所を計測

位相一致法 (2)

Signal detection
 $s(t) =$
 $a_1 \sin \omega_1 t + a_2 \sin \omega_2 t$

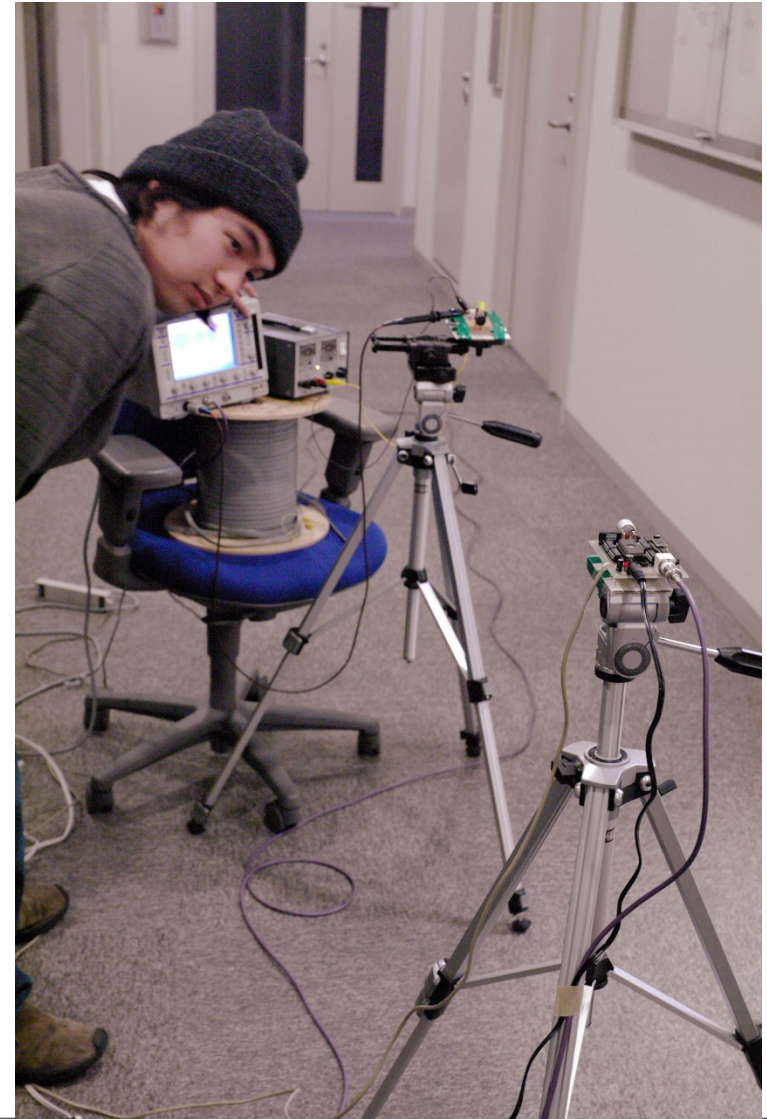
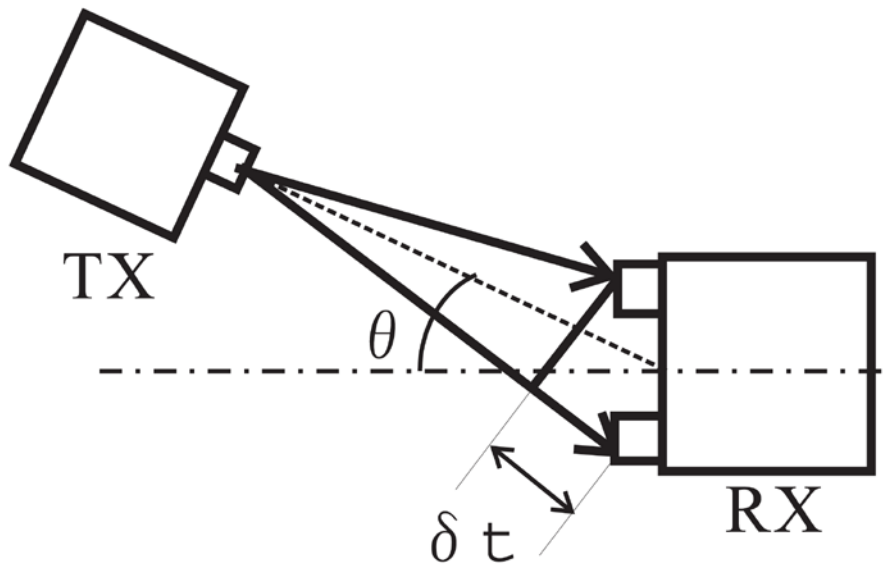


位相一致法(3)

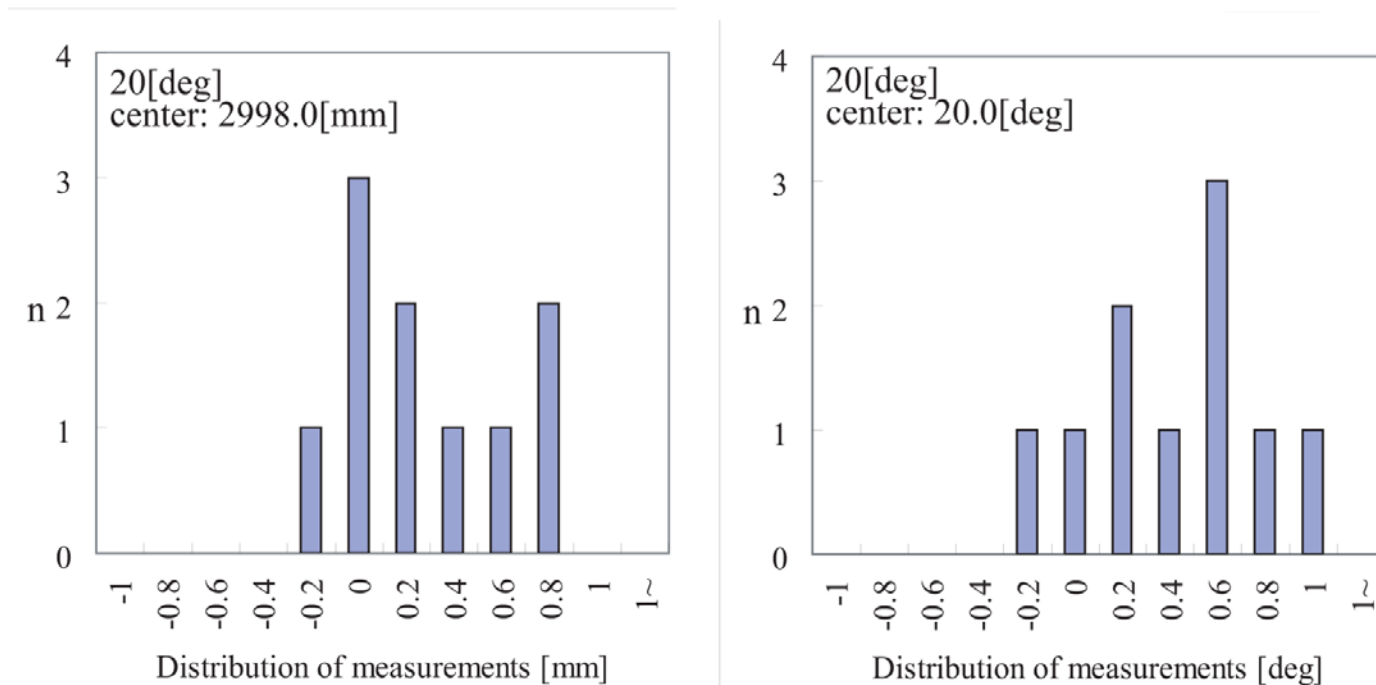
$$\begin{aligned}
 & \begin{pmatrix} 1 & \text{sinc} \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} T \\ \text{sinc} \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} T & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 e^{j\phi_1} \\ a_2 e^{j\phi_2} \end{pmatrix} \\
 - & \begin{pmatrix} \text{sinc} \omega_1 T & \text{sinc} \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} T \\ \text{sinc} \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} T & \text{sinc} \omega_2 T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 e^{-j\phi_1} \\ a_2 e^{-j\phi_2} \end{pmatrix} \\
 & = 2j \begin{pmatrix} \langle s(t), e^{j\omega_1 t} \rangle \\ \langle s(t), e^{j\omega_2 t} \rangle \end{pmatrix}.
 \end{aligned}$$

$\text{sinc } x = \sin x / x$ is the sampling function.

実験 (2005ころ)



測定精度 3m + 20dig offset from center

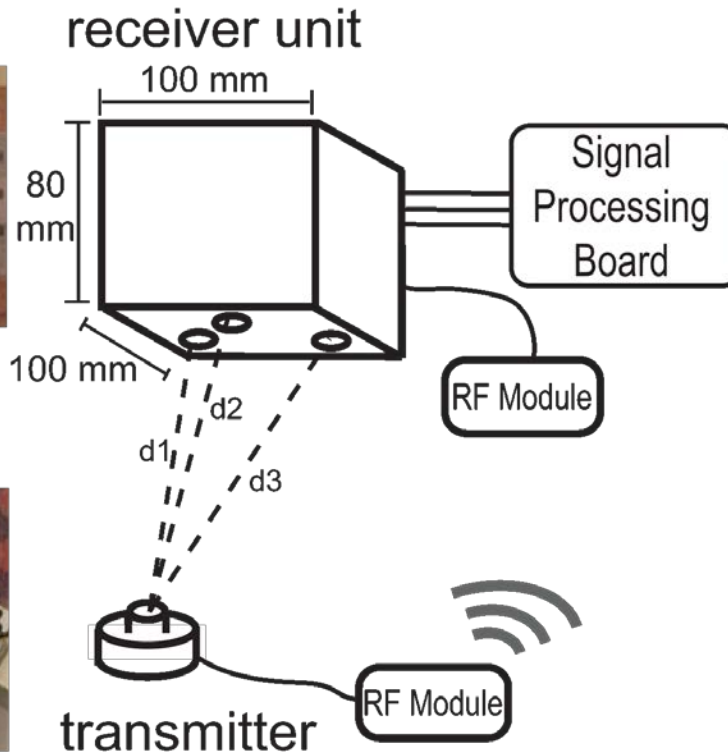
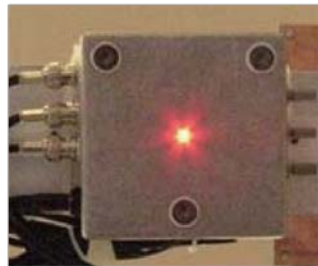


最初の計測 3mで $\pm 0.2\text{mm}$

その後、実験室で $\pm 0.035\text{mm}$

屋内音響計測での精度 **世界記録**

超音波位相一致法によるガイド



- 位相一致法の高い精度 (1mm以内)を利用した三次元位置計測ユニットの開発
- 設置時の測量を省略
ユニットを壁や天井に置くだけ
- センサネットワーク技術によるロボットの誘導実験

ロボット誘導の実験結果

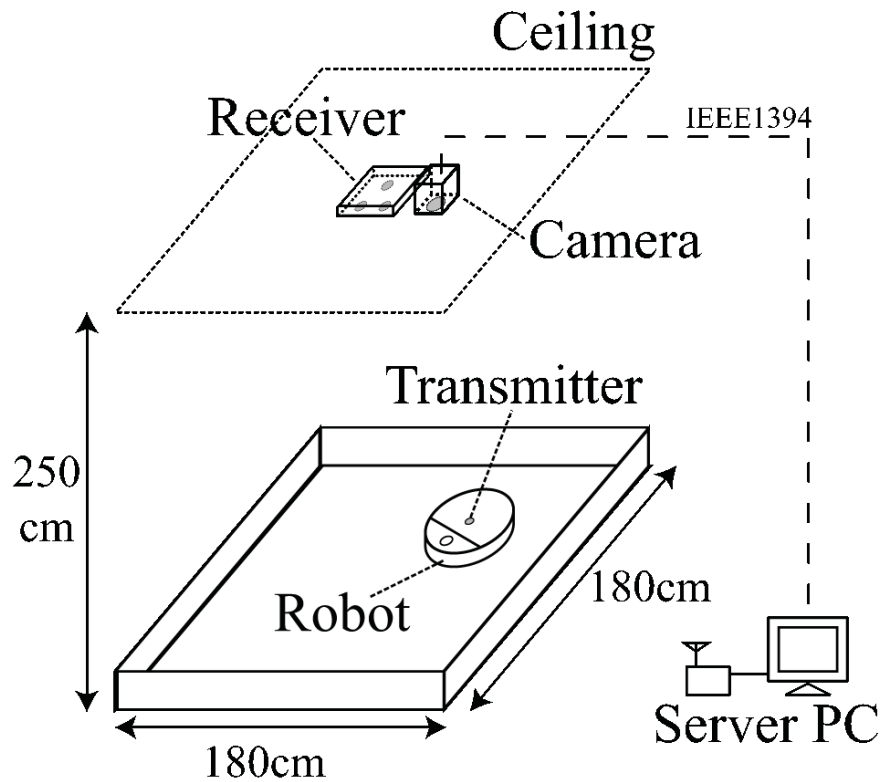
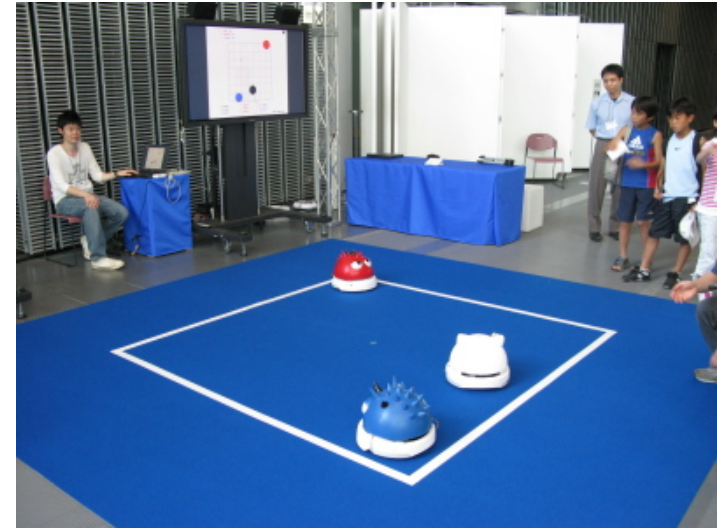


Fig. 6. Experimental setting



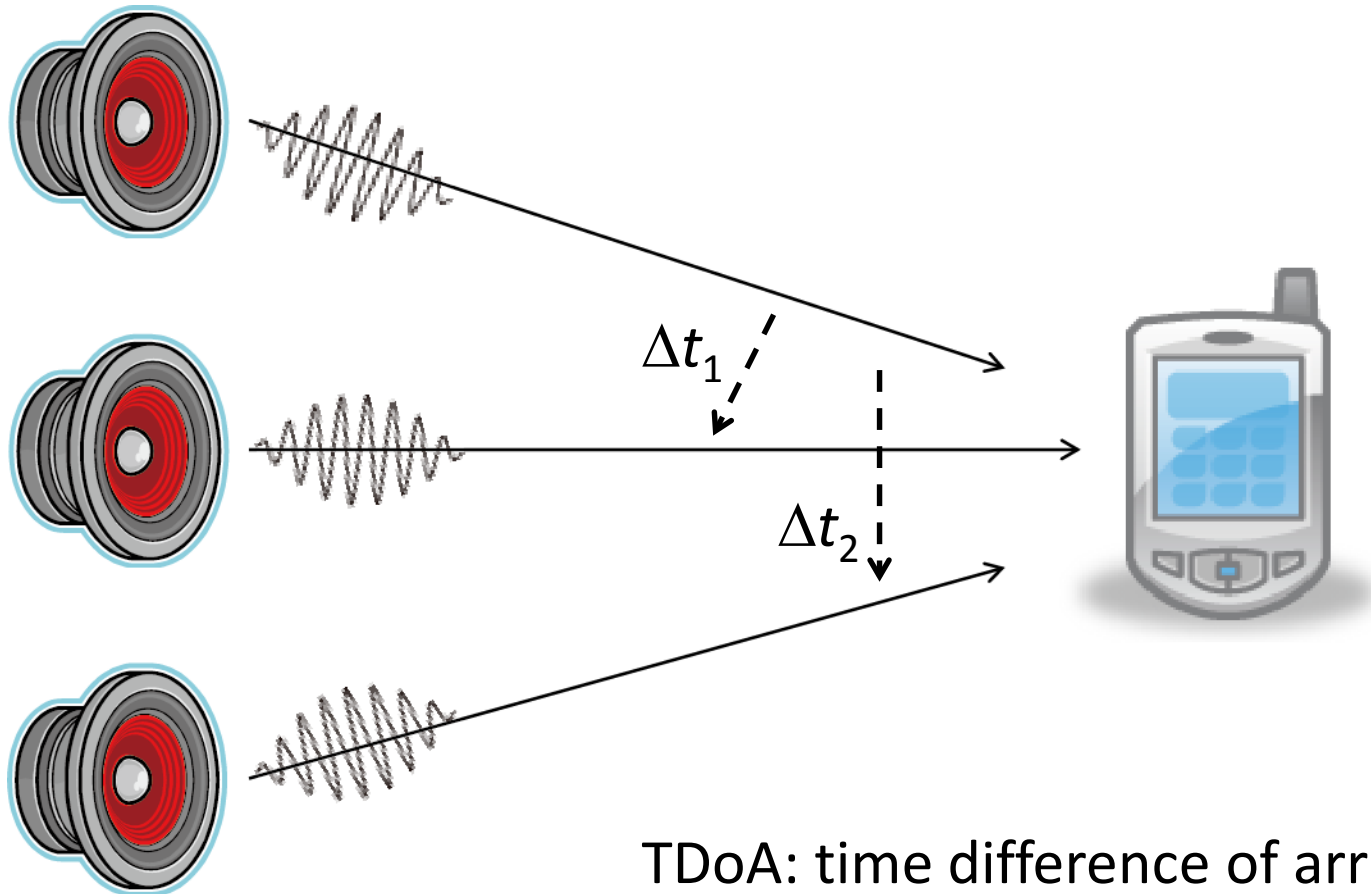
台場未来館のデモ 2008年7月

3mの距離において

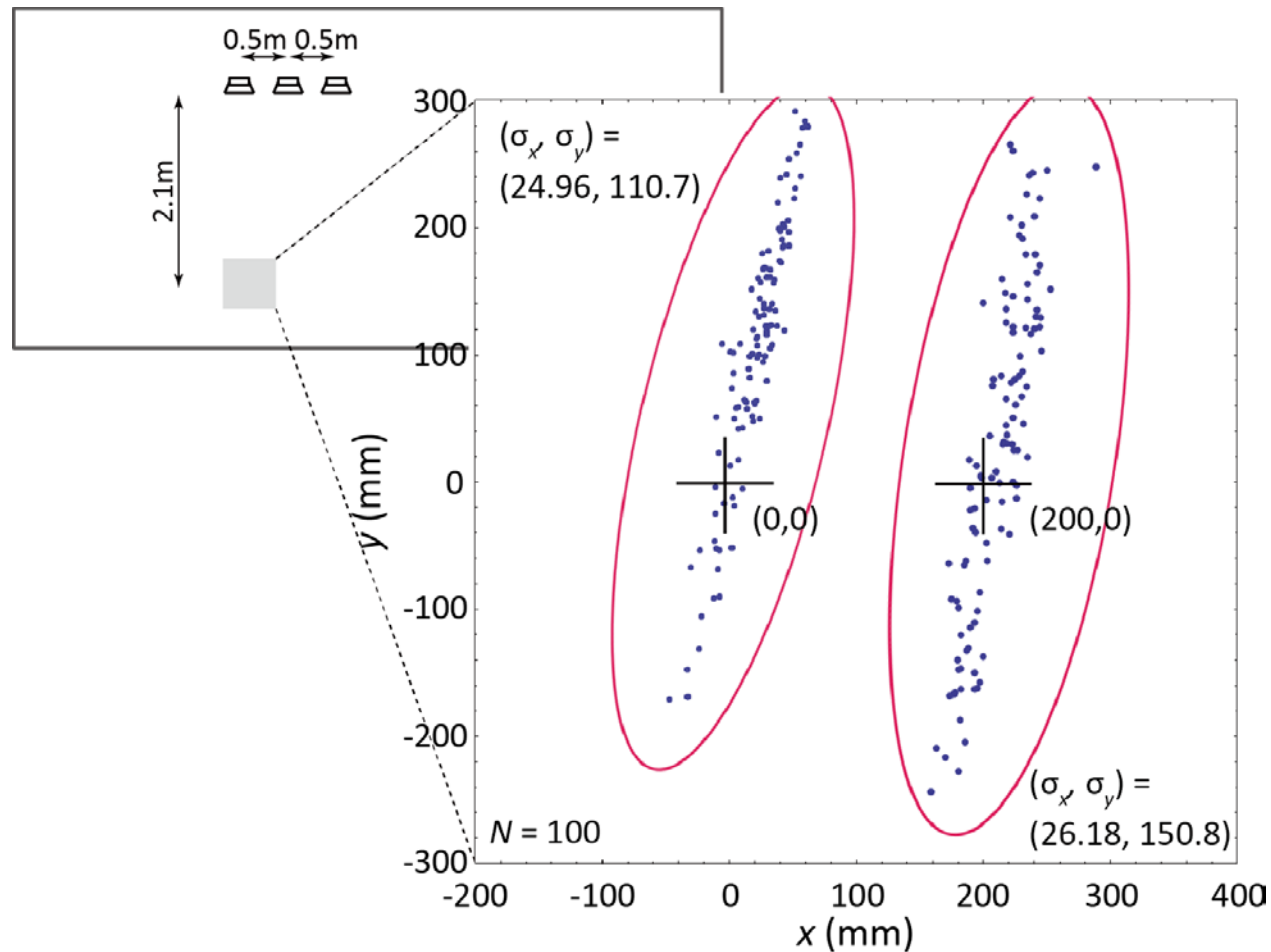
- 静的精度 $\pm 3\text{mm}$
- 動的精度 40～150mm

ドップラー補正の必要性

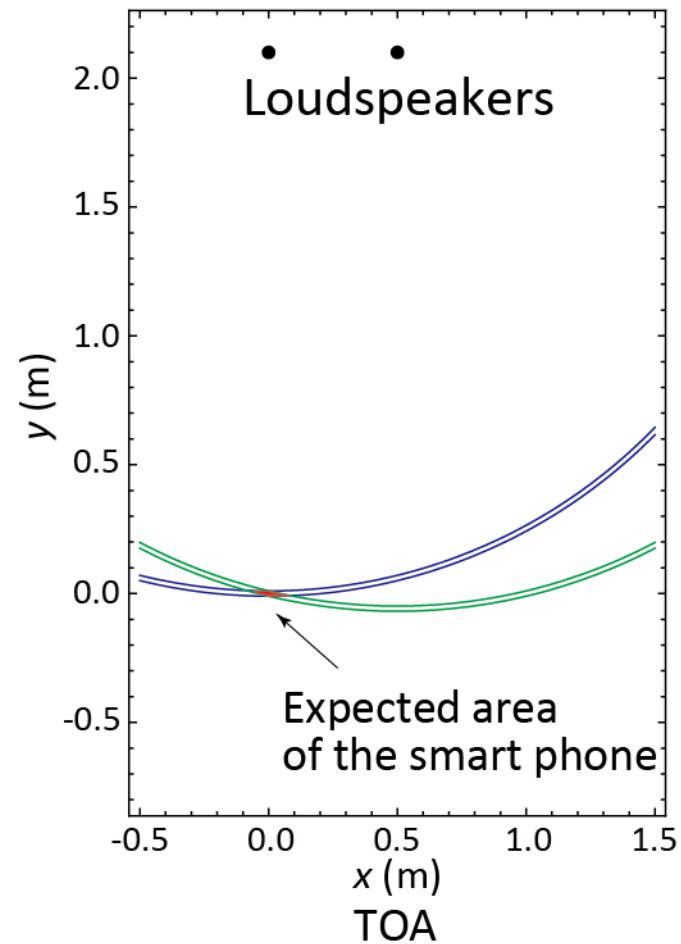
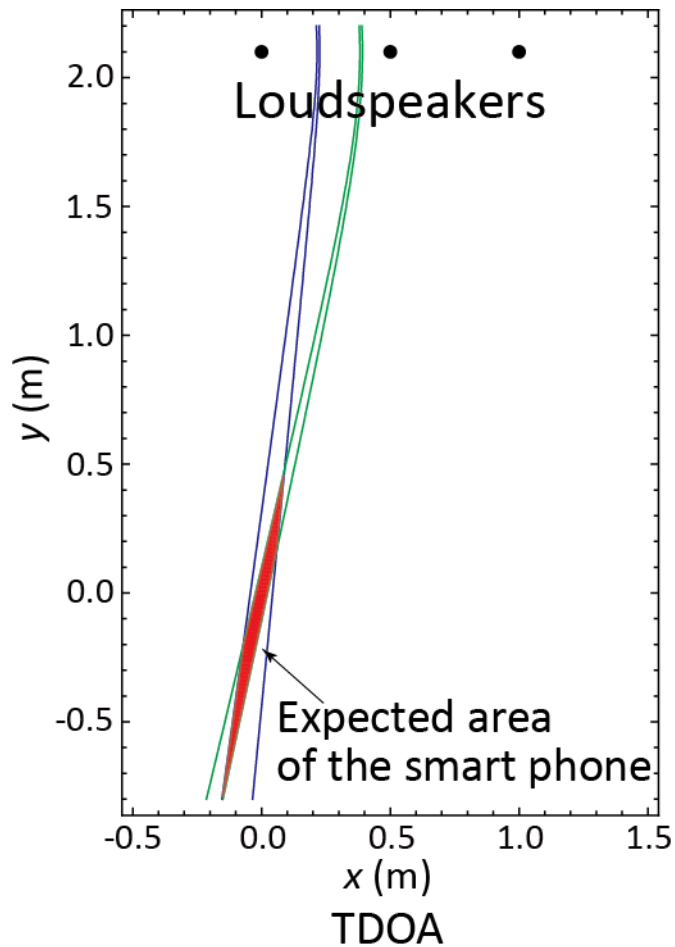
スマホでの TDoA 測位 (2次元)



2D TDoA localization results

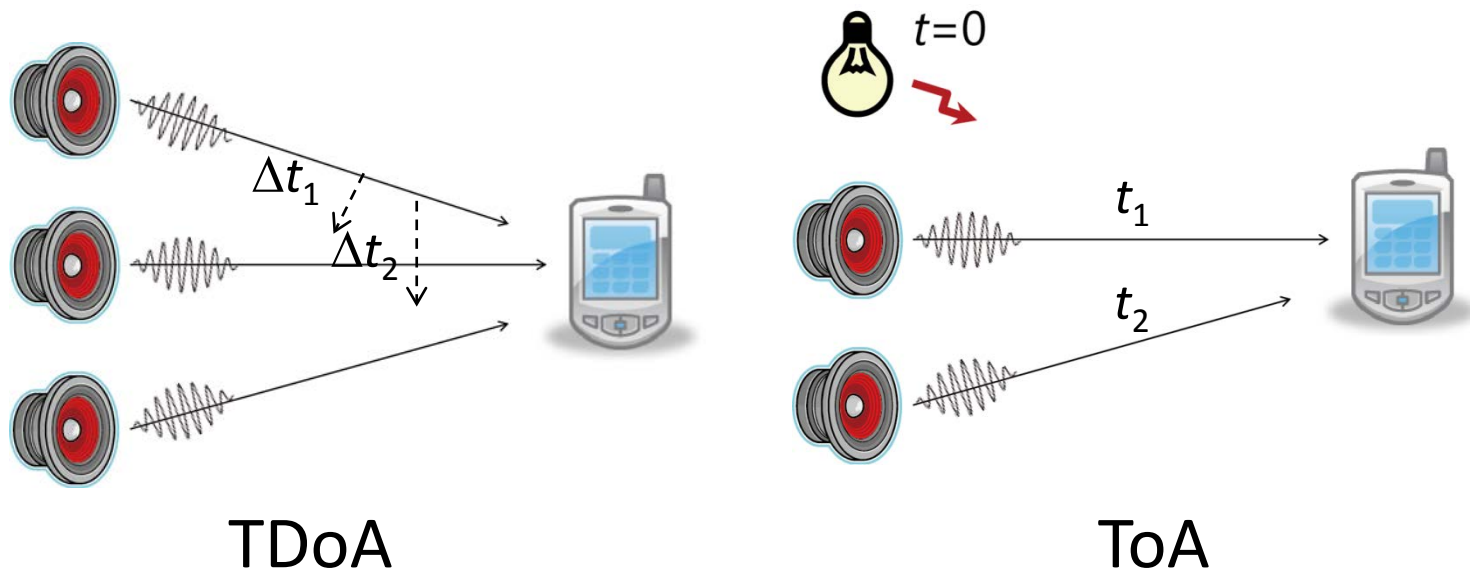


TDoA vs ToA



ToA測位への移行 送信側との時刻同期が必要

- 音と同時に光を発生させる
- それをスマホカメラで撮影(音、動画＝光)



光は瞬時に、音は遅れて到着、時間差を動画カメラで検出

必要な時間差検出精度 1/100,000 秒、カメラの1コマは 1/60秒 → **どうする？**

可視光通信技術(例)

- ・カシオ picapicamera 点光源使用

- ・パナソニック Visible light ID

面光源使用(全画面で撮影)、ローリングシャッター効果の高速通信

IEEE802.15.7(近距離無線通信)で規格化の試み。 速度向上がカギ

新しい可視光通信技術の発明

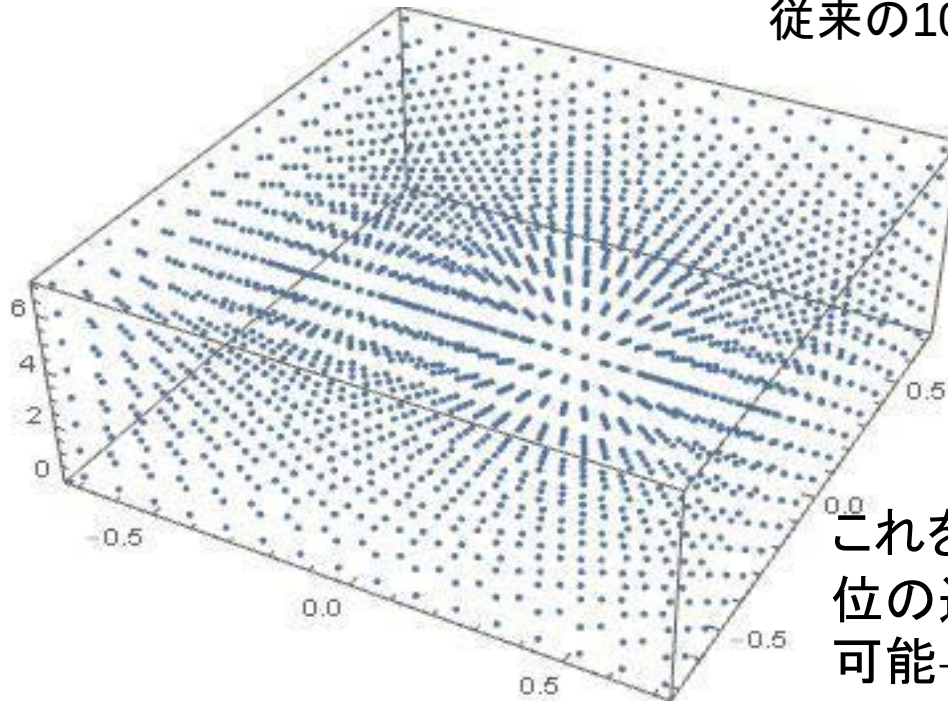
s_0 (直流)、 $s_{m/2}$ (ナイキスト周波数: m が偶数の場合のみ存在)にも振幅情報を乗せる

$$c(t) = \frac{1}{m} s_0 + \frac{2}{m} \sum_{k=1}^{m/2-1} |s_k| \cos(2\pi k t / T_q + \angle s_k) + \frac{1}{m} s_{m/2} \cos(\pi m t / T_q)$$

光通信固有の技法 → **新しい応用**

$m=3$ で直流に 8値 3ビットを乗せたもの m と同じ3次元のコンステレーション図
シンボルあたり11ビット伝送でき、**伝送速度は220bpsに増加**

従来の10倍以上の通信速度

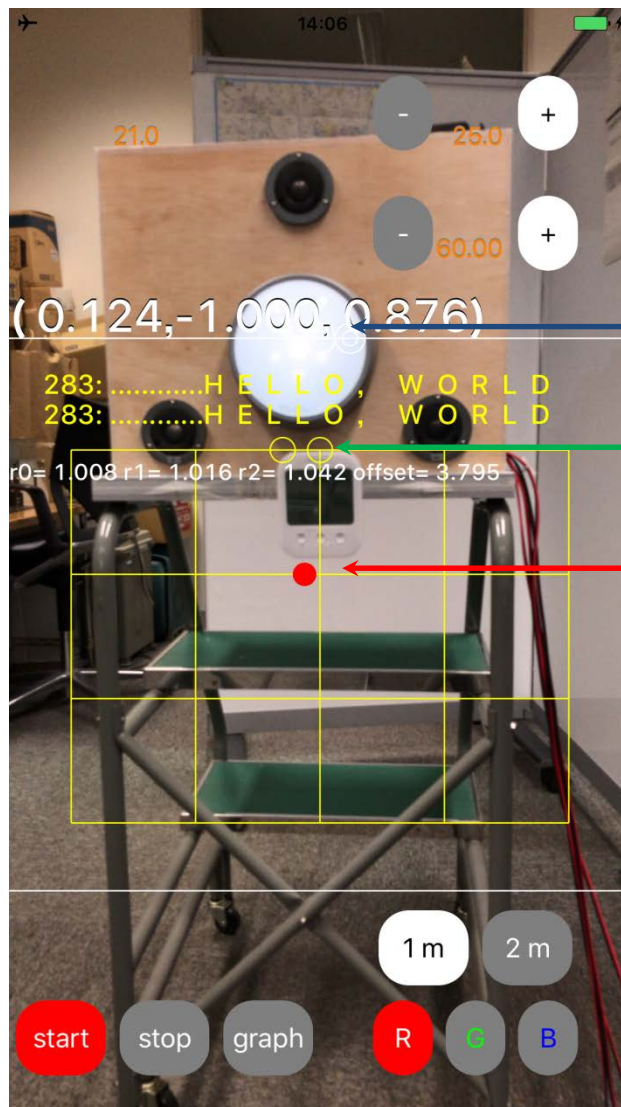


これを使って 1/100000秒単位の送受信機間**時刻同期**が可能→ **ToA計測を実施**₃₆

距離計測実験(可視光通信を併用)

- iPhone 7 Plus

スピーカまでの距離



照準(光検出)

スピーカ(2個)

測位結果

実験協力

秋山尚之

国立情報学研究所

橋爪研究室

総合研究大学院大学

(総研大)

屋内測位国際学会 IPIN

2017年9月北大開催 世界から371名参加





第8回
屋内測位・屋内ナビゲーション国際会議
2017年9月18日(月)ー21日(木)
北海道大学(札幌市)

外で使えたスマホの
ナビ… どうして
建物内では使えないの？
駅の乗換え、デパートの売り場など、GPS/GNSS電波
の来ない屋内でも、現在位置を知る技術、目的
場所までナビゲートさせる技術があります。

屋外ナビとつながる
屋内ナビ実用化は、
もう目前に！

★日本では初の国際会議開催です。
幅広い皆様からたくさんのご参加
をお待ちしております。

関連する技術分野

- 屋内測位 基礎技術・応用技術
- 屋内地図・3次元地図 地図の自動生成
- スマートフォン自律航法
- 老人見守り、障がい者のためのナビゲーション
- ロボット制御、自動倉庫
- ナビゲーションサービス標準化
- など



〔日程〕 2017年9月18日(月)ー21日(木) 北海道大学(札幌市)

▶18日……………ワークショップ・チュートリアル [日本語・英語]

▶19日ー21日……国際会議 [英語]

▶21日 午後……技術解説と総括 [日本語]

協賛 北海道 / 札幌市 / セコム財団

協賛 一般社団法人電子情報通信学会 / 一般社団法人情報処理学会
一般社団法人電気学会 / 一般社団法人人工知能学会
一般社団法人測位航法学会 / 一般社団法人地理情報システム学会
国立研究開発法人産業技術総合研究所

詳しくは <http://www.ipin2017.org/>  問い合わせ : info@ipin2017.org