

L. Shi, Wireless Power Hotspot that Charges All of Your Devices, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - 無線充電. 複数の端末に同時に充電したい.
- Problem
 - MagMIMOというのが提案されているが, 複数に充電すると性能が大幅に低下して充電できない.
- Approach: MultiSpot
 - 複数端末を考慮してビームフォーミング. 端末が動いた場合には端末間の結合状態が変わるため, 送信側ではこれに応じてビーム制御を変化させる.
 - 端末毎にどのような配分でエネルギーを伝送するかも決められる.
- Other approaches
 - 磁界結合
 - 距離がめっちゃ短い, 距離や角度の変更に弱い.
 - 磁気共鳴
 - 大きいコイルが必要. コイルを小さくすると距離が短くなってしまう.
- Result
 - 実装による実証評価. スマートウォッチを腕に装着して, そこで作業しながら距離に対する充電時間などで評価している. 置いている端末数も変化させている.
 - 最大50cmまで充電可能. 装着した状態で動いていても大丈夫なので高い柔軟性を実現している.

- Scenario
 - スマホでのWebページ閲覧.
- Problem
 - 電力をムダに浪費している. もっと省電力化したい.
- Approach
 - Webブラウザの動作を解析し, ムダを見つける.
 - network-aware resource processingにより通信状態に応じた速度でデータの処理を行う.
 - adaptive content paintingにより, 見えている範囲の変化だけを描画する.
 - application-assisted schedulingでブラウザ内部の情報をを用いた適切な処理スケジューリングを行う.
- Other approaches
 - 通信遅延に対応して省電力にページを描画する手法, ページ読み込み時間を予測して省電力に描画する手法, 有機ELディスプレイで省電力化するための色変換, 通信リソース使用の解析を通じた省電力化ガイドライン.
 - Webページ側を中心に考えているので限界に達している.
- Result
 - Chromiumを改造してGalaxy S5-E・S5-S上で動作させた.
 - 100個のWebサイトで平均24.4%の電力を削減.
 - ページ描画時間はSpeed Indexで評価. 平均0.38%の削減.
 - 他のブラウザは細部を解析せずに同様の手法を適用したが, 電力は削減できた. 少し遅くなった模様.
 - ユーザに使用してもらっての評価も実施. 特に気になるほどの遅さは無いという結果.

S. He, Optimizing Smartphone power Consumption through Dynamic Resolution Scaling, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - スマホの解像度がムダに増加.
- Problem
 - 高解像度でユーザ体験がそんなに増加していないにもかかわらず消費電力が増加している.
- Approach
 - 超音波測距でユーザと画面との距離を測り, Dynamic Resolution Scaling. ユーザが見えない範囲で解像度を落とすことでユーザ体験を落とさずに省電力化できる.
 - OpenGLにフックさせることでアプリ側を変更せずともDRSできる.
- Other approaches
 - Dynamic Resolution Scalingは古くから使われる手法だが, スマホでフレーム単位で制御, しかもアプリの改変不要という点はこれまでの手法では実現できない.
 - カメラでユーザの存在を見て画面をON/OFFする手法. カメラの消費電力は大きいのでスマホ向きではない.
 - GPU消費電力最適化. 周波数を落とすやつとか. この論文の手法はこれとは異なる切り口のアプローチなのでさらに省電力化できる.
 - ユーザ体験とのトレードオフで削減する. 定量的なトレードオフを評価していない. この論文の手法はユーザ体験を落とさずに省電力化できる.
- Result
 - Galaxy S5 LTE-AとNexus 6を使って実証評価. 平均で30.1%消費電力削減. 10人のユーザによる実用評価のフィードバックでもユーザ体験の低下は確認されなかった.

X. Chen, Smartphone Background Activities in the Wild: Origin, Energy Drain, and Optimization, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - スマホの消費電力増加. 省電力化したい.
- Problem
 - アプリのバックグラウンド動作. 応答時間短縮のために多くのアプリで導入されているがユーザ体験向上につながらない場合も多く, 電力の浪費となっている.
- Approach: HUSH
 - Background to Foreground Correlationという指標を導入し, バックグラウンド動作の有用性を数値化.
 - バックグラウンド動作は次回オンしたときにそのアプリをユーザが使うどうかで有用性が決まる, アプリの使用傾向はユーザ毎に決まるという仮説を立証.
 - 上記仮説に基づいてバックグラウンド動作を無効化する.
- Other approaches
 - 通信電力を最適化する手法. 通信をまとめてWiFi接続時にやるなどすることで省電力化. バックグラウンドという観点ではなくコンポーネント毎に最適化するにとどまっている.
 - 電力使用に関しての調査は多数存在. しかし, 省電力化まで踏み込んでいないものも多く, 踏み込んでいてもコンポーネント毎.
- Result
 - 2000人のユーザのトレースから仮説を立証.
 - Galaxy S3とS4を使ってHUSHを実証評価. 台数は2000台. ユーザ体験への影響を最小化しつつ平均で15.7%の電力削減.

- Scenario
 - WiFiの遅延スプレッドプロファイル. モーションや位置ベースのアプリに利用される.
- Problem
 - 遅延スプレッドはChannel State Information (CSI)を逆FFTすることで得られるが, 市販のWiFiの帯域幅は20MHz程度なので15m程度の解像度でしか測位などができない.
- Approach: Splicer
 - 複数チャンネルに関するCSIをつなぎ合わせて広帯域の信号に関するCSIから高解像度の遅延スプレッドを作成する.
 - チャンネル特性の差から振幅方向と位相方向にCSIの誤差が生じるため, 複数チャンネルのCSI情報を用いて補正してからつなぎ合わせる.
- Other approaches
 - 複数チャンネルの情報をつなぎ合わせてチャンネル推定する手法やToAなど. 複数台の送受信機で高精度な時刻同期が必要となる.
 - CSI位相補正も提案されているが, 位相情報を他のNICに適用するだけのものや, 高精度な同期が必要となるものしかない.
 - 遅延スプレッドを使ったアプリ. 提案手法はこれらにおいて高精度化を実現するもの.
- Result
 - Atheros 9580を使ったNICで実装. 実証評価により測距誤差を7.1mから1.63mまで削減.
 - CUPIDを使ってAP 1台の測位システムを実装し, 平均誤差0.95mを実現.
- Next papers to be read
 - S. Sen et al., Avoiding multipath to revise inbuilding WiFi localization, ACM MobiSys 2013.

W. Wang, Understanding and Modeling of WiFi Signal Based Human Activity Recognition, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - WiFi信号を使った行動認識手法. これらはChannel State Information (CSI)を利用している.
- Problem
 - CSIの変化と人間の行動に関するモデルが存在しないので, 性能などを最適化することができず, 精度向上に向けた検討すらできない.
- Approach: CRAM
 - CSI-speedモデルとCSI-activityモデルを構築. 人間の行動の速度と行動の種類をそれぞれモデル化し, これを基にHMMにより行動認識を行う. 人による違いや速度の違いを吸収して高精度に行動認識が可能となる.
- Other approaches
 - RSSIベース. RSSIの精度が低いので精度が低い.
 - 特別なハードウェアを使うやつ. 高いし, 普通の環境には導入しづらい. 提案は市販のものOK.
 - CSIベース. 市販のWiFi機器ではCSIのノイズがあるので精度低下. 提案ではCSIのノイズの影響を低減する手法を組み合わせることで精度向上.
- Result
 - 市販のWiFi機器を使って実装し, 実証評価. 96%以上の精度で行動認識できることを確認. 行動の種類(何もしてない, を含む). 25人の協力でデータを収集している.

L. Sun, WiDraw: Enabling Hands-free Drawing in the Air on Commodity WiFi Devices, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - 手のジェスチャ認識に関する研究開発が盛ん.
- Problem
 - これまでの手法は特別なハードウェアが必要であったり, 事前に学習したジェスチャしか認識できなかったりする.
- Approach: WiDraw
 - 手が動いたときに, 到来電波を隠す角度が存在するため, AoAによって手の位置を推定できる. また, 隠される角の大きさが手と機器の距離で決まるので手の距離も推定できる.
 - 既存のWiFi機器をそのまま使ってソフトウェアのみで実現できる.
- Other approaches
 - カメラベース. LOS環境が必須.
 - モーションセンサベース. スマートフォンやスマートウォッチなどの外部デバイスをユーザに持ってもらうことが必須.
 - RFベース. あらかじめ動きを学習しておく必要がある. または特別な機器をユーザに持ってもらう必要がある.
- Result
 - Atheros 9590を使ったWiFiを持つLaptopで実装. 平均5cm未満の誤差で手の位置を推定. 文字を書かせるユーザ評価を行った結果, 平均精度91%で文字を推定できた.
- Next papers to be read
 - R. O. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation", IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol.34, no.3, 1986.

- Scenario
 - キータイピングのプライバシーはパスワードや個人情報保護の観点で重要.
- Problem
 - WiFi信号を使ってもキータイプのような細かい動作を推定できてしまう.
- Approach: WiKey
 - あるキーを打つとき, 手はユニークな形状・動きをする. これを見ることで指という細かいところまで見なくてもタイプしたキーを推定できる. 具体的にはキー毎にChannel State Informationを使ったCSI-waveformを学習しておき, これを使ってキーを推定する.
- Other approaches
 - RSSベース. マクロな動きは追跡できるが, 指のような小さいものは精度的にムリ.
 - CSIベース. マクロな動きを追跡できるのが基本. 唇のような小さいものを追跡できるものもあるが, 指向性アンテナをステッピングモータを使って追尾させる必要がある.
 - SDRベース. 特別なハードウェアが必要となる.
- Result
 - WiFiルータTL-WR1043ND(ただの送信機)とLenovo X200を使って実装. 10人のユーザで各キー30回ずつデータを収集. その後に文を打ってもらった. 1人だけ80回のデータ収集をして, 収集量のインパクトも評価.
 - 30回の学習では平均77.43%の精度, 80回の学習では平均93.47%の精度でキーを推定できた.

- Scenario
 - ドローンや自動運転車, 半自動ロボットなど, モバイルコンピューティングにおいて著しい進化.
- Problem
 - 高精度な測位, 周辺イメージング(モノの位置や向き, 表面状態などの把握)ができないと近い将来予想されているアプリ(自動配送や自動運転による送迎など)が実現できない.
- Approach: RSS Series Analysis
 - 60GHzミリ波レーダ再び. ミリ波レーダの波長は短いので, 移動しながらだと誤差が生じてうまく測位などができない. また, mmレベルの誤差によって大きな位相の誤差が生じるため, 正確なイメージングが困難. そこで, 何度も送信した信号に関するRSS列からイメージングを行う. 移動体からミリ波を送信していることを利用して, モノの変化が分かることに加え, 事前学習データにより表面状態も推定できる. また, 移動しているからモノの向きも推定できる. RSSさえ取ればいいので市販のチップセットで実現できるから低コスト.
- Other approaches
 - カメラベース. 高精度ででかいカメラが必要. 見通しが効かないとダメだし, 表面状態などの細かいことまでは分からない.
 - 超音波やレーダ. 特別なハードウェアが必要. 高精度だけどでかいし高い.
 - RFベース. 同じ仕組みは別にWiFiでもできなくはないが, 精度が低くなる. 高精度なやつは高いし, 波長からして精度に限界がある.
- Result
 - 60GHz送受信機を使って実験環境内で12個の生活用品を5cm未満の誤差でイメージング(位置と表面の境界)できた. 受信機は1m動かしただけ.

T. Wei, mTrack: High-Precision Passive Tracking Using Millimeter Wave Radios, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - RFによるモノの受動的センシング. コンピュータとの新しいインタフェースになりつつある.
- Problem
 - 現実のUIはトラックパッドやペンなど, もっと細かい動作トラッキングを実現しないと読み取れないものが入力として使われている.
- Approach: mTrack
 - 802.11adで標準化されている60GHzミリ波を使う. 送信機から出たミリ波が反射されるさまを複数台のアンテナで観測. まずはモノの初期位置 (anchor point) を取得し, 単一波でモノの軌跡を追跡する. バックグラウンドには他のモノによる反射やその変化が含まれるので, これを除去する方法も提案.
- Other approaches
 - RFベースの能動的センシング. 受動的センシングに応用すると強度が小さいためにマルチパスによって精度が大幅低下. RFIDを使うやつは精度高いが, RFIDを持ってないとダメ.
 - RFベースの受動的センシング. 複数キャリアでGHzレベルのサンプリングによって実現されるからでかい機器向き. あとは測距とかに特化したハードウェアが必要となる.WiFiのRSS使うやつもあるけど, センチメートル以下のレベルの精度は実現できない.
- Result
 - WARPを使って実証評価. 90%の試行で誤差8mm未満でペンの位置を追跡できた.

- Scenario
 - スピーカはいたるところで使われている.
- Problem
 - 防音ルーム内でスピーカが発した音でも無線信号を使って傍受できてしまう.
- Approach: Acoustic-Radio Transformation (ART)
 - スピーカの振動によって生じる無線信号の振幅・位相変化をモデル化し, このモデルを使って音声を復調.
 - 電波の反射はマルチパスによる重ね合わせの影響を大きく受けるため, このダイバーシティを利用して周波数選択とビームフォーミングによって精度を上げる.
 - 通常のWiFi信号を使って実現するための受信パケット処理アルゴリズムも提案.
 - 対抗する手段についても発案している(ここでは割愛).
- Other approaches
 - マイクロ波やレーザ, ハイスピードカメラを使ってリモートから窓などの振動を検出するやつLOS環境でしか使えない.
 - レーダによる行動センシング. 学習しないと高い精度が実現できない.
 - 音声信号盗聴. 高い性能のマイクと無線通信によって実現されることが一般的.
- Result
 - ソフトウェア無線を使って実装. 実現可能性を検証した.LOS環境に加えて壁越しや窓越しでも実現できることを検証している.

J. Liu, Snooping Keystrokes with mm-level Audio Ranging on a Single Phone, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - スマホやタブレットのマイクが高性能化している.
- Problem
 - 高性能なマイクを使えばキーボードの打鍵音をmmレベルで音源定位してキータイプを盗める. しかも学習なしで.
- Approach
 - 1台のスマホのステレオマイクでTDoAする. マイク2台なので1箇所に絞り込むことはできないが, 双曲線上に音源があることが分かる. 同じキーについて複数回TDoAし, キーボードの大きさという制約を用いてmmレベルでキーの場所が分かる.
 - 同じキーを特定するためにメル周波数ケプストラムを使ってクラスタリングを行う. 学習不要で同じキーを特定できる.
- Other approaches
 - 振動を使うやつ. キーボード毎に学習しないとキーを推定できない.
 - 音声使うやつは3台のマイクロフォンを使う. スマホでもやってるやつはあるけど, 複数台のスマホが必要になる.
 - 音声を使った位置測位. 10cm程度の誤差が生じる.
- Result
 - 市販のスマホを使って実装. 48kHzサンプリングで85%以上の精度を実現できることを確認. 192kHzサンプリングでは94%以上.
 - 1回のキー入力でも, 3つのキー候補に正解が含まれる確率(top-3 accuracy)は48kHzサンプリングの場合で97%以上となった.
 - LOS環境だけでなく, NLOS環境でも検証している.
- Next papers to be read
 - C. Peng et al., “Beepbeep: A high accuracy acoustic ranging system using COTS mobile devices”, ACM SenSys 2007.
 - J. Qui et al., “On the feasibility of real-time phone-to-phone 3D localization”, ACM SenSys 2011.

- Scenario
 - センシング技術の進歩. 便利になる一方で一部の情報が漏洩していることに相当する.
- Problem
 - スマートウォッチに搭載されている加速度センサと角速度センサを用いればキータイプを盗める.
- Approach: MoLe
 - 2人分のデータを使って学習データを収集. キー押下検出, 手の動作追跡, 特徴点計算, ベイズ推定によってタイプされた単語を推定する. タイプしたキー数, 押下のタイミング, 手の移動によってキーの組み合わせが絞り込まれる.
 - 個人毎の学習は不要.
 - データだけでは厳しいので英語の辞書リストを組み合わせる.
- Other approaches
 - キータイプの推定. 音, 入力のタイミング情報, 無線信号, 放射電磁波の解析などによって推定する手法が報告されている. モーションセンサを使った例はまだない. また, 多くの場合に追加のハードウェアが必要となる.
 - スマートデバイスのセンサ情報漏洩. スマートフォンの加速度センサを使ってバーチャルキーボードのタイプを盗む手法. 画面上のタッチによる加速度の変化を学習しておく必要があるMoLeでは片手だけの情報(センシングできるのは全ての情報ではない)から単語を推定できる点に優位性がある.
- Result
 - 左手にSamsung Gear Liveを付けて実証評価. 学習データは2人分500単語ずつ. 8人に300単語を打ってもらって推定.
 - 単語の候補の数を平均24まで絞り込めた. 単語の長さが6文字以上の場合には候補は平均10までに減少.

- Scenario
 - 無線通信の高速化. 広帯域化が進んでいる.
- Problem
 - サブキャリア(サブチャネル)毎の特性の差が大きくなっている. 一番悪い特性に合わせて通信するので効率が悪い.
- Approach: Recitation
 - エラー訂正符号も考慮に入れてパケットデータビットが正しく受信される確率(EVP)という指標を評価.
 - EVPに基づいてサブキャリア毎に不均等にエラー訂正をする手法, エラーなく受信した部分だけを受信する手法, レートレス符号を使ってビットレートを可変させる手法を組み合わせで高効率な通信を実現.
- Other approaches
 - サブキャリア集約. 広帯域信号をサブチャネルに分解した上でChannel State Information(CSI)を取得. ビット毎のエラー率は取得できないし, 性能はRecitationよりも低くなる.
 - 部分的パケット復調. パケットの衝突が頻繁に発生する場合に有効. ビットレートをさらに上げられる可能性があるが, そこまではやってくれない.
 - 可変ビットレート. MIMOが使われている場合はチャンネル毎の特性が異なる要因となるので, 可変ビットレートだけでは効率が悪い.
- Result
 - Atheros 9580の載ったWiFiカードで実装. 可変ビットレート, 部分的パケット復調によってそれぞれ平均で33.8%, 16%だけスループットを向上できることを確認. 不均等なエラー訂正によって6dBのPSNRの向上も確認. 一部の評価ではWiFiカードで受信した信号をGNU Radioに流し込んでいる.

- Scenario
 - マルチユーザMIMO (MU-MIMO). ネットワーク容量を増加させることができる.
- Problem
 - 大規模化すると(1)ビット当たりのエネルギー増加, (2)高いオーバーヘッド, (3)標準の規定がないという問題が発生し, 現実には適用できない.
- Approach: Hekaton
 - 単一のアンテナではなく, 複数のアンテナを持つRFをつなぎ合わせて単一セル上でのビームフォーミングと全体でのデジタルビームフォーミングを組み合わせることで, ユーザ数に制限されることなくアンテナ数を増加させ, 高い利得を得ることができる.
- Other approaches
 - 大規模MU-MIMO. スケールしないため, 準最適化したり, 並列計算に頼ったりする必要がある.
 - 2段階ビームフォーミング. アナログでのビームフォーミングとデジタル領域でのビームフォーミングを組み合わせるのは新しいが, 最適化のためにオーバーヘッドが大きくなり, スケールしない2段階の最適化を行う手法もあるが, アナログフェイズドアレイとデジタルRF回路を密に連携させる必要があり, 既存のベースステーションの存在を考えると非現実的.
- Result
 - WARPを使って実装. 既存のMU-MIMOに比べ, 送信機の消費電力を増加させることなく単一セルのスループットを最大で2.5倍にまで増加できた.

S. M. Kim, FreeBee: Cross-technology Communication via Free Side-channel, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - 多数の無線規格の乱立. 同じ周波数帯を使用する無線規格端末間の干渉などのマイナスの側面が多数報告されている.
- Problem
 - 同一周波数帯を使用することはマイナスの側面だけでなくプラスの側面もあるが, それはまだあまり報告されていない.
- Approach: FreeBee
 - 追加の通信帯域を消費することなく異種無線規格 (WiFi, ZigBee, Bluetooth) 間で通信を行う手法.
 - 多くの無線通信で一般的に使われているビーコン信号をシフトさせることでシンボルを変調する一種の PPM (pulse position modulation).
 - ビーコン周期によって多重化することで複数の端末での通信や複数チャネルを用いた通信の高速化などを実現.
- Other approaches
 - PPM. FreeBeeのアイデアは基本的に PPM. PPMは光通信とUWBで多用されている. これらではタイミングを正確に制御できるのでビーコンに適用する FreeBeeのケースには適用不能.
 - 複数の無線規格を組み合わせて性能向上させる手法は多数報告されているが, 異種無線規格間で直接の通信を実現するのは少なく, Esense, HoWiES, GSenseというのがあるだけ.
 - FreeBeeはこれらとは以下の点で異なる. (1) 必須のビーコンを使うので追加の帯域を消費することなく通信ができる. (2) 周期による多重化によって複数端末間でアドレスベースの通信が可能. (3) ハードウェアの改造は不要. (4) 一般で使用されているWiFi, ZigBee, Bluetoothという3つの無線規格での通信を実際に実現して報告.
- Result
 - 理論的な導出及び WARP・MICAz・ラップトップ・IOGEAR Bluetooth Dongleを用いた実証評価. 30mphの速度で動いている場合でも5%以下の duty で動作させていて通信可能であることを確認.
 - 既存のEsenseの4.3倍の通信速度を達成.
 - ショッピングモールにおける WiFi トラフィックを使って WiFi に比べて78.9%消費電力を削減できることを確認.
- Next papers to be read
 - K. Chebrolu et al., Esense: communication through energy sensing, ACM MobiCom 2009.
 - Y. Zhang et al., HoWiES: A holistic approach to ZigBee assisted WiFi energy savings in mobile devices, INFOCOM 2013.
 - X. Zhang et al, Gap Sense: Lightweight coordination of heterogeneous wireless devices, INFOCOM 2013.

- Scenario
 - 可視光は照明やエネルギー源などの多面的な側面を持つ.VLCによって通信という新たな機能が備えられた. さらにセンシングという機能性も備えている.
- Problem
 - 可視光によって行動・姿勢センシングのためのユビキタスセンサという機能性も実現できるか？
- Approach: LiSense
 - 影を使ってユーザの姿勢を推定する. 天井にVLC用のLED, 床にVLC用のフォトダイオードを設置.LEDから光ビーコンを送信することで各LEDが作る影を取得し, これら複数の影の情報から3次元のスケルトンの姿勢を推定する.
- Other approaches
 - VLC物理層の研究はLiSenseの実現に有用.
 - VLCアプリ. VLCは屋内通信, 測位, 車載通信, 機内エンターテインメントなど様々な用途に使われる. LiSenseはVLCの用途を高分解能のセンシングへと押し広げるもの.
 - 姿勢認識.
 - 音や無線信号を使うやつ. 決められた姿勢における特徴量を学習して姿勢認識するため, 姿勢の数が制限されてしまう.
 - カメラやデプスセンサを使うやつ. 複雑な計算が必要なので計算処理が重い. また, 精度を確保するために膨大なデータでトレーニングする必要がある.
- Result
 - 市販のLEDとフォトダイオードを使って3m x 3mのテストベッドを構築. 5つの接続点を持つスケルトンの姿勢をフレームレート60Hzで平均の角度誤差10度で推定できた. 5個の影を使って16msで姿勢を推定できる.

C. Zhang, Extending Mobile Interaction Through Near-Field Visible Light Sensing, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - モバイル端末の普及. タッチスクリーンがユーザインタフェースのデファクトスタンダードとなっている.
- Problem
 - モバイル端末の小型化によりタッチスクリーンの制約が問題となってきている. 例えば, ゲームなどのリアルタイムアプリでは操作によって画面が隠されるのが問題. スマートウォッチなどさらに小型の端末を考えると影響は深刻.
- Approach: Okuli
 - モバイル端末周辺にある面を入力デバイスにする. LEDと小型の光センサ2つを用いて, VLCによって指の動きを1cmの精度で追跡することで仮想タッチパッドや仮想キーボードを実現する.
- Other approaches
 - 可視光を使った能動的測位. 可視光の減衰から距離を出したり, 天井設置のLEDを使って三角測量したりなどがある. 数十センチの誤差となる. 光以外にもRFIDなど電波を使う方法もあるが, ユーザに電波を反射するものを持つてもらうことが必要.
 - 受動的なセンシング. 赤外線脈波計などの赤外線センサは近接する物体の変化をセンシングできるのでマルチタッチのセンシングにも応用されている. が, ざっくりとしたセンシングしかできないし, 膨大な学習データが必要となる. 学習不要の高精度なものもあるが, 膨大な数の赤外線センサが必要. Okuliはモデルに基づいているので学習不要だし, センサは2個でOK.
 - 高精度なカメラを使えば高い精度を実現できるが, 複数台のプロジェクタやカメラを必要とし, 計算付加も大きいいため消費電力, コストの観点からモバイル端末には適していない.
- Result
 - Arduinoを用いてAndroidに接続できる周辺機器として実装. 9cm x 7cmの領域内で, 指の位置の誤差は中央値0.7cm, 90パーセンタイル値1.43cmであった.
 - 手書き文字認識精度は90.6%, 仮想キーボード押下認識精度は90.7%であった.

L. Kang, EcoDrive: A Mobile Sensing and Control System for Fuel Efficient Driving, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - 近年の車両は多数のコンピュータを搭載しており、モバイルコンピューティングプラットフォームの 1つであると言える。
- Problem
 - 地球温暖化問題などにより、エネルギー効率の向上が大きな課題となっている。
- Approach: EcoDrive
 - 車両のCANに接続されている On-board diagnostics (OBD) から取得した情報を元に車両にかかる力 (推進力, 駆動系損失, 空気抵抗など) を燃料消費量の関数としてモデル化. Air/Fuel Rate (AFR) プロファイルと呼ぶ.
 - 動的プログラミングによって現在のスピードをその場所において維持するのに必要となる最小燃料消費を取得し, 各スピードにおける最適な AFR を得る. その場所での法定速度に達するまで加速しながらこれを繰り返すことで最小の燃料消費を実現. 法定速度に達したらあとは速度を維持する制御をする.
 - Cruise control システムにつないで使うなどを想定している.
- Other approaches
 - Cruise control. 一定速度で車両を走らせるシステム. 前方車両との車間距離を維持するものもある. EcoDrive は Cruise control よりさらに省電力.
 - 燃費向上系. 効率の良いルート選択や信号の情報を共有して速度を調整するなど. 燃料消費をフィードバックしたとのドライバの挙動変化などについて調べたものもある. これらはドライバの挙動に対するアドバイスなどであるが, EcoDrive はドライバを直接補助する.
 - 車両の挙動センシング系. スマホのセンサを使ってやるやつとか. OBD 使って速度を取るやつもある. これらは取得した情報と燃料消費のモデルを結びつけていない.
 - 車両の推進力モデリング. 空気抵抗やミッション, タイヤ摩擦, エンジントルクなどをモデル化するものが報告されている. EcoDrive のモデルは CAN から取得できる情報だけを使っており, タイヤ半径やミッションギアの大きさなどの物理的な情報は不要.
 - 自動運転系. いっぱいあるが, 物体検出や効率的なナビゲーションなどに注力し, 新しい車を開発することを目指している. EcoDrive は既存の車に使えるものであり, 燃料消費に基づいて制御するもの.
- Result
 - 市販の機器を使って実装. Chevrolet の 2011 年式 Impala に搭載して 100 マイル以上で実証評価.
 - 市街地では燃費を 10~40% 向上.
 - 高速道路においてはユーザテストと比べて 30% 以上の燃費向上を達成. Cruise control システムと比べても平均 10% 燃費を向上.
 - 12 車種の 10,000 マイル以上のトレースデータを使ってシミュレーション評価. Cruise control システムの燃費表示は誤解を招くものであり, スピードの変化に対して Cruise control システムの燃費は悪いことを確認.

- Scenario
 - ディスプレイは様々なところで使われている.
- Problem
 - ディスプレイに映し出されたものはカメラで記録できてしまう. たとえ著作物であっても.
- Approach: Kaleido
 - 映画館での上映がターゲット.
 - 目とカメラの違い(色認識がスペクトル時間方向, フリッカー効果と特定のフリッカ周波数, カメラのローリングシャッター効果)を利用して, 目には見えるけどカメラで撮ると見えなくなるように再エンコードする.
 - 映画は24fpsまたは30fpsで撮られたものだが, 映画館の上映は240fpsなどの高いレートとなっているために表示の際に元のフレームを何回か繰り返している.Kaleidoではこの繰り返しにおいて特別な処理を行うことで「見るだけ」が可能な映像を実現する.
- Other approaches
 - スクリーン・カメラ間通信. 2D OFDMなど. これまでは通信効率の向上などを目指していたが,Kaleidoはスクリーン・目間の通信品質を維持したままスクリーン・カメラ間の品質を劣化させることを目指すもの.
 - 視覚暗号系. 2枚の画像を重ねると読める文字とか. 人間の視覚の知覚過程を利用している.
 - 画像・映像プライバシー保護系. 顔をぼかしたり, モザイクかけたり. 画像・映像でプライバシーを保護できるけど, 画面に映し出されたものを海賊版の録画から保護するのはムリ.
- Result
 - LCDとプロジェクタを使って30本の動画を再生. さまざまな種類のスマートデバイスで録画して海賊版動画を取得. 50人のユーザ評価によって動画の質を評価.
 - 90%以上のユーザが, Kaleido適用前後で目で見たとときの差を感じなかった. 録画した動画に関しては6%のユーザが著しく質が劣化したと回答.

S. Elmalaki, CAreDroid: Adaptation Framework for Android Context-Aware Applications, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - 計算機科学分野は実環境との関連が深くなりつつあり、モバイルアプリにおいてはコンテキストアウェアなアプリが当たり前になりつつある。
 - コンテキストアウェアとは、物理的な環境をセンシングしてそれに応じて挙動を変えるソフトウェアシステム。
- Problem
 - コンテキストアウェアはコンテキストに合わせてパラメータ・メソッドを切り替えることで実現されるが、モバイルアプリにおいてはコンテキストの取得、切り替え処理をアプリ開発者が自分で書かないといけないのが現状。
- Approach: CAreDroid
 - Androidにおけるコンテキストアウェアアプリのためのフレームワーク。センサ情報を通じてコンテキストを推定し、挙動切り替えを行う。アプリ開発者は各コンテキスト用のパラメータ・メソッドを用意し、これらとコンテキストを結びつける設定ファイルを用意する。
 - これまでこのようなフレームワークはモバイル向けには作られていない。
 - アプリの多様な実装形態に対応するため、AndroidのDalvik Virtual Machine(DVM)に組み込んで実現。
- Other approaches
 - コンテキストに応じた挙動関連
 - コード分割。一部の計算処理をサーバにオフローディングする。ネットワーク帯域や CPU負荷状態に応じて行うので、コンテキストアウェアの 1つと言える。
 - Reflective技術。下位レイヤの virtual machineの状態を取得する技術。モバイルコンピューティングではコンテキストの変化を取得するミドルウェアで利用されている。
 - 代替code path。使用可能なエネルギーに応じて使用するアルゴリズムを切り替える手法。
 - コンテキストの取得
 - 少ないエネルギーで性能劣化なくコンテキストを取得する研究などが行われている。モバイル端末の OSではコンテキスト取得用のAPIが提供されていることもある。
 - コンテキスト適応エンジン
 - アプリケーション指向のエンジンと OS指向のエンジンが存在する。この論文のはアプリ指向のを設計。
- Result
 - 3つのケーススタディによって評価。少なくともコード量を半分に削減。また、フレームワークを使わず AndroidのAPIだけで実装した場合と比べて実行時間の観点で少なくとも 10倍の効率向上。

A. Mayberry, CIDER: Enabling Robustness-Power Tradeoffs on a Computational Eyeglass, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - 人間の目は、その人の健康状態や注意の方向、決意などを示す。
- Problem
 - 自然な環境(要するに日常)で目に関するパラメータを連続的にセンシングする手法がない。
 - 既存のものは消費電力が大きく、日常的に使用することは困難。
 - 屋外では自然光が変化するためにセンシングのロバスト性を担保することが困難。
- Approach: CIDER
 - 現実環境に適応して目の動きを追跡するシステム。屋内では低消費電力に動作し、目の追跡が困難となる屋外環境においても太陽光に対してロバストに追跡することが可能。
 - エネルギーとロバスト性はトレードオフとして実現。ノイズ・ばらつきが大きいと判定した場合にはエネルギーを犠牲にしてサンプリング速度を上げたり、ノイズを削減する計算を行うことでロバスト性を高める。具体的には各機能をブロックとしてパイプラインを構成し、これらをON/OFFさせる。
- Other approaches
 - 動的エネルギー適応系。電池容量が少ない時にはシステムの性能を落としてエネルギーを節約するなどの手法。CIDERはアプリ特化の動的エネルギー系の1つ。
 - 視点追跡系。古くから研究されている分野。これまでのところ、実験室環境でカメラの前に座って固定された状態で取得するものが多く行われてきた。
 - モバイル視点追跡系。実環境中で視点追跡できる小型の機器。市販のものもあるが、主に普通の視点追跡システムを小型化しただけなので光源と高性能カメラを搭載している。校正が必須だし、消費電力も大きい。また、録画だけしてくれるデバイスがほとんどで視点追跡の計算はオフラインで行う。
- Result
 - ARM Cortex M3のSTM32L151マイコンを使って実装。瞳孔中心を誤差0.6度未満、瞳孔径を誤差0.22mm未満で推定できることを確認。
 - 消費電力については視線追跡レート4Hzでは約7mW、250Hzで約32mWとなった。

X. Xie, piStream: Physical Layer Informed Adaptive Video Streaming Over LTE, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - LTEを通じた適応的なHTTPビデオストリーミングが流行ってきている。
- Problem
 - 適応的ストリーミングの性能はクライアントにおけるエンドツーエンドのネットワーク帯域見積りの精度に大きく依存する。LTEではリンクが変化するので、帯域見積りの精度向上は困難。
- Approach: piStream
 - クライアントにおいてLTEベースステーションのPHY層のリソース割り当てを取得し、ネットワーク帯域幅を見積もる。PHY層のリソース割り当ては、LTE無線リンク上のエネルギーを評価することで取得できる。これと帯域幅とを対比させることでネットワーク帯域幅を見積もる。
 - 見積もったネットワーク帯域幅を利用し、LTEダウンリンクのバースト性を考慮に入れてビデオ停止リスクを最小化しながらビデオ再生の質を最大化できるように確率的にビデオの質を決定する。
- Other approaches
 - LTEプロファイリングとアプリ最適化。LTE送受信機のアーキテクチャレベルで解析してるやつとか。レイヤ間の相互作用が大きな影響を及ぼすことが解析されている。
 - 適応的ビデオストリーミングプロトコル。UDPの上に載せてサーバ側で適応性を実現するやつなど。最近ではCDNサーバを通じて適応的にストリーミングするDASHプロトコルを使うサービスが増えている。使用可能な帯域幅に応じて適応的にレートを変更するものであるが、「使用可能な帯域幅」を見積もることがLTEでは難しく、piStreamではこれを実現する。
 - Radio Access Network (RAN) ベースのスループット適応。LTEに準拠していない制御メッセージによってエンドツーエンドのスループットを制御する手法。LTEベースステーションの大幅な変更が必要なので実現困難。
 - 上位レイヤで無線帯域の変動に適応するやつ。有線環境ではアクティブプロビングによって帯域幅を見積もれるのでたくさん研究されてきた。が、LTEでは帯域幅を見積もるのがそもそも難しい。
- Result
 - 時刻や場所、移動の有無を変えながら実証評価。Verizon LTE channel 13を使うGalaxy NexusをUSRPIに接続して実装している。
 - 一般的な屋内環境において、Buffer-based adaptionという既存手法に比べて1.6倍のビットレートでの再生を実現しながらほぼ0%のビデオ停止を実現した。

T. Zhang, The Design and Implementation of a Wireless Video Surveillance System, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - カメラによる監視システムが広く利用されている。
- Problem
 - ほとんどのシステムは有線接続であり、記録した映像を人間が監視している。無線環境ではたくさんのカメラの存在が帯域不足という大きな問題につながっており、ビデオの質を落とさざるを得ない。
- Approach: Vigil
 - 250時間以上の監視ビデオを解析し、ほとんどの時間で監視対象が存在しないことを確認。
 - 例えば、待合室における2週間のデータでは最新の顔認識システムで9.8%の時間で顔を検出できなかった。人通りの多い廊下などにおいても80%以上の時間で顔を検出できなかった。
 - そこで、監視対象を指定し、対象が存在するときだけデータを送る監視システムVigilを開発。エッジコンピューティングを取り入れて監視対象の存在検出はオンサイトでを行いops (objects per second) を評価する。ネットワーク帯域に合わせてopsが大きい部分を優先してクラウドに送る。
 - さらに、空いている帯域を集めて公衆WiFiを提供するハイブリッドネットワークも実現。
- Other approaches
 - クラウドベースのカメラ監視システム。有線接続でクラウドにビデオをアップロードして高性能な処理によって監視対象を検出する。高コスト。センサでの処理を減らすため、あるいはアップロードの遅延を減らすために計算処理の一部をクラウドにオフローディングして処理を高速化する手法もある。Vigilはアップロードの量自体を減らすことに主眼が置かれている点で異なる。
 - 映像解析アルゴリズム。様々なアプリのために映像解析するアルゴリズムが提案されているVigilではこのような既存アルゴリズムを使って通信スケジューリングを行う。
 - 映像圧縮アルゴリズム。M-JPEGやH.264はよく使われている映像圧縮手法。映像圧縮はVigilの採用とは関係なく適用できる。
- Result
 - 監視対象の活動状況に依存するが、サポート可能なエリアサイズを~200倍に拡大。
 - 固定サイズのエリアを監視する場合には、監視対象を最大で5%多く発見できる。

H. Yao, SAMPLES: Self Adaptive Mining of Persistent LExical Snippets for Classifying Mobile Application Traffic, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - ネットワーク管理者は、ネットワーク内で動作しているアプリを知っておく必要がある。
 - ネットワーク設計や帯域設定, 課金, トラフィック管理, アプリ別ファイアウォールなど.
- Problem
 - モバイル端末の普及. 多数のアプリをインストールして使うので, トラフィックの種類も様々.
 - ほとんどのアプリはHTTP/HTTPS通信を使う.
- Approach: SAMPLE
 - モバイルアプリの通信トラフィックを分類するシステム. モバイルアプリではHTTPヘッダにアプリ固有の情報を埋め込むことが多いので, HTTPヘッダを使ってアプリ毎にトラフィックを分類する.
 - 一部トラフィックをクロールしながらマーケットなどにおけるアプリ名IDを使ってアプリを識別する辞書を作成する.
 - 作成した辞書を使い, 教師データを解析してアプリ毎にHTTPヘッダに含まれる語彙を3つの観点で連結したルールを学習する. (a) IDのタイプ, (b) アプリIDがあったHTTPヘッダフィールド, (c) これらの前後に付くプリフィックス・サフィックス
 - 共通のライブラリを使用するなどして同じIDが含まれていることもあるが, 3つの観点を連結してルール化することで精度良くアプリを識別できる.
- Other approaches
 - トラフィック解析はProtocol/Portベースのものが多く行われているが, モバイルアプリの多くはHTTP/HTTPSを使うのでこれでは対応できない.
 - モバイルアプリのトラフィック解析ではアドホックに学習ベースで解析する手法が主流であり, 膨大な数のアプリに対応するには人手での学習や膨大な計算資源が必要となり, 非現実的.
- Result
 - Android, iOS, Nokiaマーケットプレイスの70万種類のアプリが生成した約1500万のトラフィックフローを分類. 90%を超える精度でアプリを推定できた. 平均の推定精度は9%. 学習に使用したのは各プラットフォームのマーケットプレイスの2%未満のアプリだけ.

Y. J. Jia, Performance Characterization and Call Reliability Diagnosis Support for Voice over LTE, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - LTEの普及. 従来の音声通話回線を置き換えるVoLTEの実装が進められている.
- Problem
 - VoLTEの実装はまだ初期段階. LTEのカバレッジが狭いために十分な信頼性を確保できない. 従来回線に比べて5倍も通話失敗が発生する.
- Approach
 - VoLTEの音声通話の質を取得して問題を検出するツールを開発. 問題点を明らかにし, その解決方法を示すことでネットワークオペレータに改善を促す.
- Other approaches
 - 携帯通信網トラブルシューティング. 問題の根本原因を探るための研究はほとんど行われていない. 課金の誤りを生じさせるための抜け穴などが報告されている. また, データ層と制御層にそれぞれで問題点を指摘する報告もある. VoLTEに対するものはまだ報告がない.
 - 音声通話の性能解析. SkypeのようなVoIPを対象としているものがほとんど. エラー訂正などの効果を解析するものや通話の長さからユーザの満足度を解析するものなどが報告されている. VoLTEに関してはQoS (Quality of Service) を評価しているものが報告されている. 本論文ではユーザから見た接続までの待機時間や通話の信頼性など, より詳細な情報を取得して問題の根本原因を解決している点に新規性がある.
- Result
 - 負荷テストを通じて現在のVoLTEにおける3つの問題を発見. (1) 端末ベース, ネットワークベースのイベントを対応づける仕組みの欠如, (2) 間違ったハンドオーバー手順, (3) タイムアウト時など, レイヤ間連携の欠如.

- Scenario
 - モバイルネットワークの普及と複雑化. ネットワークシステムは多重化しているもののサービス停止は発生してしまうため, ネットワークサービスの性能をモニタリングしたい.
- Problem
 - モバイルネットワークではテストデータを送って性能をモニタリングすることが一般的であるが, スケールしないし, モバイル環境の変化に適応するのは困難.
- Approach: ABSENCE
 - 集約したユーザトラフィックに基づいてサービス停止を検出するシステム. サービス停止はユーザトラフィックに少なからぬ影響を与える. 匿名化された呼記録(CDR: Call detail record)からモバイルサービス(通話, データ通信, 短いメッセージング)毎の使用状況を計算し, 過去の状況と照らし合わせることでサービスの状況をモニタリングする.
- Other approaches
 - さまざまな研究が行われてきたが, 2つの制約がある. 1つ目は, probeの配置によってカバレッジが制限される点. 2つ目は, probe用のトラフィックを追加しなければならない点.
 - モバイルネットワークの性能を測定する手法. 性能に関するトラブルシューティングやコンポーネント解析による異常検出を実現するフレームワークなどが提案されている.ABSENCEではモバイルネットワークのサービス停止に着目し, モバイルネットワーク特有の移動体によって発生する問題・スケーラビリティの問題に対処する点に新規性がある.
- Result
 - Hadoopを使って実装. モバイルキャリアの実データをベースとしてサービス停止シナリオを想定した評価を行った. 88%の検出率を達成. サービス停止がユーザトラフィックに10%以上の影響を与える場合には98%の検出率を達成.
 - 実際のサービス停止時のデータを用いた評価を行った結果, 100%の検出率を達成.

T. Stoner, Experience: Rethinking RRC State Machine Optimization in Light of Recent Advancements, ACM MobiCom 2015

- Scenario

- モバイルネットワークのRRC(Radio resource control)ステートマシンは無線リソースの割り当てを行うもの。現在の実装は大きい遅延とクロスレイヤ性能の劣化を招いている。

- Problem

- RRCにおいては、CPC(Continuous packet connectivity)とEnhanced FACH(Forward access channel)という新しい技術が提案されているが、どれほど性能を改善できるのかが不明であるためにキャリアに導入されるまでの障壁が高くなっている。

- Approach

- 実環境においてRRCの改善がどれほど効果を得られるのかを評価して、キャリアの導入を促進させる。
- CPCの性能を評価するための新しい手法を提案。RFスペアナを使ってモバイル端末が送信したRF信号の包絡線を取得し、CPC DTXがいつ使用されたのかを正確に取得する。

- Other approaches

- ネットワーク状態の観測なしで状態遷移を予測することは困難であることが報告されている。モバイル端末の消費電流を観測してRRCステートマシンの状態を取得する研究などがあるが、ノイズの影響を大きく受ける。本論文ではRRSステートマシンの状態を観測する新しい手法を提案。
- ステートマシンの最適な状態制御やアプリの動作が無線リソースの非効率的な利用につながっているという報告など、消費電力に関連する報告がある。このような研究のように、本論文でもすでに一部が導入されているRRCの改善手法がどの程度の性能改善につながっているかを解析する手法を示した。

- Result

- 実環境で得たデータを解析し、新しい機能をサポートしている端末の割合を調査。CPCは14%、HS-FACHは4.5%、EUL-FACHとE-FACH DRXはサポートされないなかった。
- CPCによってDCHテール時間の消費電力が25%削減できることを確認。
- EUL-FACHが使えないと性能改善の高い効果を得られないことを確認。制限された機能でも200 byteのpingの応答時間を26%改善できた。HS-FACHによる制御メッセージの遅延削減も確認した。
- 音声・ビデオストリーミングアプリにおいて、CPC DTXによって消費電力を23%削減できた。また、ソーシャルメディアアプリではDCH状態の時間が13.7%削減され、DCH状態の消費電力が21%削減された。HS-FACHは大きな改善は確認できなかったが、全てのFACH機能を使えば性能改善が見込まれる。

- Scenario
 - 壁越しのモーション検出や測位に関する研究が多く行われている。
- Problem
 - 壁越しのモーション検出や測位はUWBとMIMOを利用している。これらを実現するための機器は消費電力が大きいなど、軍事目的以外の一般の使用に耐えない。
- Approach: Tadar
 - RFIDリーダーとタグを取り付けることなく使用し、壁越しのモーション検出・測位を実現するRFIDシステムは低コスト、小型であり、民生利用が可能である。
 - 壁の外側にRFIDタグを貼り付け、LOS環境にあるRFIDリーダーから読み出しを行う。読み出し信号には壁の向こう側の影響も含まれていることから、この情報を復元してモーション検出する。
 - LOS環境での伝搬信号と壁の向こう側が何も無いときの信号とを用いて、反射信号を分離。
 - 観測対象の位置を状態、反射信号を各状態の観測信号としてHMMで対象物の動きをモデル化。観測対象物の軌跡をビタビアルゴリズムで最尤推定。
- Other approaches
 - レーダを使ったやつ。広帯域なパルス信号を送ってその反射を解析することで物体をトラッキングできる。高コストで一般向けではない。
 - WiFiを使ったやつ。WiFi信号の反射を使って物体をトラッキングするなど。相対的な動きの検出にとどまったり、特別なハードウェアを必要とするなどの制約がある。
- Result
 - ImpinjのRFIDリーダーとAlienのタグ45個を用いて2つのオフィスビルで実証評価。
 - 8インチのコンクリートの壁、5インチの中空壁、1.5インチの木のドア越しに動く物体を検出。
 - 閉じられた部屋の中の観測対象をXY方向に中央値誤差7.8cm x 20cmでトラッキングできた。

- Scenario
 - RFIDはさまざまなアプリで使われるようになったが、読み出し時のタグ間の通信衝突が問題.
- Problem
 - タグ間衝突を解決する手法が提案されているが、タグの変更が必要となるので市販のタグには適用できない.
- Approach: BiGroup
 - タグの改造無しにRFIDリーダ側の変更だけでタグ間衝突発生時にも復調可能とする手法.
 - RFIDタグの応答信号を時間-IQ空間の両方の側面から解析し、各タグの信号を分離する.
 - タグの応答はIQ空間でのbit反転だけなので、IQ空間でのsymbolは対称的な位置に移動するだけ. そこでまず、IQ空間上のsymbolをクラスタリングしてラベルを付ける. このラベルが時刻の経過とともにどう変化したかを記録.
 - クロック周波数のバラツキのため、各タグはわずかに異なるビット長で応答する. これを利用して各タグのビット反転のタイミングを推定.
 - ビット反転タイミングで各symbolクラスタがどう変化したかによって、各タグのビット反転を推定できる.
- Other approaches
 - 市販のRFIDはframe slotted ALOHAを採用して衝突回避. FDMA/SDMA/CDMAを使う手法も提案されているが、タグ間の調整によるオーバーヘッドが大きい.
 - 衝突した信号をビット毎に復調する手法. タグの応答がチャンネル上で線形に結合することを想定している上に、タグ間のビットレベルの同期やチャンネル推定が必要となるため市販のタグでは実現不能. 直交符号を使う手法などもあるが、いずれもタグ側の改変が必要となるし、複雑な符号化はタグの消費電力増加による読み出し距離の短縮、読み出し率低下につながる.
- Result
 - USRPを使って提案するRFIDリーダを実装. 複数社のタグを使って実証評価.
 - 読み出し成功率は11倍になり、複数タグの読み出し時間は6倍速くなった.

- Scenario
 - 位置情報を使ったサービス・アプリが多く開発・研究されている。スマホを使ったナビゲーションなど。
- Problem
 - ナビゲーションは最後の部分でうまくできていない。例えば, Google Mapでは目的地のビルまではたどり着けるものの, ビル内の案内まではしてくれない。
- Approach: FollowMe
 - 過去に通った人の痕跡(軌跡)を取得して, それを利用して案内を行う「ラストマイル」のためのナビゲーションシステム。地図情報やインフラ, 追加のハードなどが不要。
 - 過去に通った人(リーダ)はスマホを使って場所依存のセンサ情報を記録し, 歩行パターンと対応させておく。例えば残留磁界情報を記録するが, FMやGSM信号でも良い。
 - 歩行者がスマホで取得した情報を過去にリーダの軌跡情報と照らし合わせることでナビゲーションを行う。
- Other approaches
 - スマホを使ったナビゲーションはGPSやWiFiなどを使うインフラ依存のものと, Dead Reckoningなどインフラ非依存のものがある。いずれの場合でも, 「ラストマイル」のためのマップ情報が無いために「ラストマイル」のナビができない。
 - 残留磁界を使う測位。高精度なハードの追加やフィンガープリントデータベースの構築が必須。
 - リーダ・フォロワというアプローチもすでにいくつか報告されているが, 音響ビーコンを必要としたり, 重い計算処理を必要とする。
- Result
 - Androidスマホを使って実装。5人の被験者でキャンパス内の4階建てのビルで実証評価。ナビゲーション中の測位誤差の95%は2m以内だった。エネルギー消費量を少なくとも50%削減できた。

Y.-C. Tung, EchoTag: Accurate Infrastructure-Free Indoor Location Tagging with Smartphones, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - コンテキストウェアネスやジオフェンシングが流行ってる.
- Problem
 - 屋内ではスマホだけで高精度に測位する技術が確立されておらず, 屋内でのジオフェンシングができていない. WiFiやFM, 周囲の音を使う測位の研究もあるが, 部屋・メートル単位の測位精度.
- Approach: EchoTag
 - 任意の場所にタグ付けするシステム.
 - スマホから音を送出し, その反射音のパターンを用いて同じ場所を認識する. これまでの受動的なアプローチとは異なり, 自由に音を送出できるので耐ノイズ性などを向上できる.
 - 測位を行うものではない. あくまで学習した位置と同じ場所にいるかが分かるだけ.
- Other approaches
 - 既設のWiFi APの信号を使うやつ. RSSベースやfingerprintベースがあるが部屋単位くらいの精度.FM信号や周辺雑音を使うやつもあるが, メートル単位くらいの精度しか達成できない.
 - インフラを構築するやつ. LEDやWiFi・音響ビーコンを設置する. 精度は高いが追加の設置が必須.
 - 音を使う測位手法は結構ある. 特徴量ベースなので各場所での学習が必須.
 - タッチしたときに音を発させてその位置を推定する手法や, タッチした物体を音の吸収特性から推定する手法, 音の反射特性を用いて部屋を推定する手法など. いずれも精度が不十分.
- Result
 - Galaxy S5を使って実装. 11個のタグ(場所)を98%の精度で認識. 各タグ間の距離は1cm.
 - タグの学習から1週間後に取得したデータを使って90%の精度で認識.
- Next papers to be read
 - M. Ono, Touch & Activate: Adding Interactivity to Existing Objects using Active Acoustic Sensing, ACM UIST, 2013.
 - M. Rossi, RoomSense: An Indoor positioning System for smartphones using Active Sound Probing, Augmented Human Int. Conf., 2013.

J. Xiong, ToneTrack: Leveraging Frequency-Agile Radios for Time-Based Indoor Wireless Localization, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - モバイル端末における屋内位置測位. 最近では AoA方式で1メートルを切る精度が実現されている.
- Problem
 - ToA方式はさらなる精度向上の可能性を秘めているが, 限られた RF帯域幅が精度を制限している.
- Approach: ToneTrack
 - 超解像技術を使ってサンプリングの分解能を約 2倍に向上させる.
 - さらに, 周波数ホッピングする狭帯域の信号をつなぎ合わせることで, 広い帯域幅で ToAするのと同等の効果を得て精度を向上させる.
- Other approaches
 - 超音波, 赤外線, インフラを設置して測位する.
 - RSSIやCSI特徴量. 場所に依存した特徴量を使って場所を推定する.
 - 物理層ベース. 物理層においてさまざまな信号処理を行うことで測位精度を向上させる. RFIDやLTE, スマホなどを使い, 周囲の状況の変化による信号変化を抽出するのが基本のよう.
 - AoAベース測位. ToneTrackは物理層ベースに分類されるが, AoAで採用されている信号処理と共通する部分はある.
 - 慣性・地磁気センサベース. WiFiフィンガープリントと音による測距を組み合わせることで精度を向上. 慣性センサによる Dead Reckoningとの組み合わせとかもある. あとは人間による電波の吸収を利用するやつとか.
 - GPSベース. GPS以外の情報を使って誤差を修正する, 指向性アンテナを使ったりクラウドを使った重い計算処理によって精度を向上させるものなど.
 - FMベース. フィンガープリントを構築し, WiFi測位と組み合わせて高精度に測位.
 - 可視光ベース. スマートLEDを使って場所情報をエンコードして送信など.
- Result
 - WARPを使って実装. 20MHz帯域幅のAPを使って隣り合う3チャンネルで送信されたパケットをつなぎ合わせることで中央値 90cmの測位精度を達成.
- Next papers to be read
 - X. Li et al., Super-resolution ToA estimation with diversity for indoor geolocation, IEEE Trans. Wireless Comms, vol.3, no.1, 2004.
 - R. Schmidt, Multiple emitter location and signal parameter estimation, IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol.34, no.3, 1986.
 - T. Sarkar et al., Using the matrix pencil method to estimate the parameters of a sum of complex exponentials, IEEE Antenna and Propagation Magazine, vol.37, no.1, 1995.

- Scenario
 - センサネットワークや CPS, スマートビルディングにおいて ZigBee が広く利用されている。
- Problem
 - ZigBee はデータ収集に利用されるため、衝突により通信効率が低下。
- Approach: mZig
 - m 台の送信が衝突した場合にも全て復調できる手法。以下のような ZigBee の物理層の特性を利用。
 - チップレートに対して高いサンプリングレート, チップの波形は既知, パケット内の各チップの振幅はほぼ一定。
 - 時間差ありで受信した場合には ZigZag と同様の手法でチップレベルで復調。
 - 完全に同時に受信した場合には, 振幅のレベルが何個あるかによって同時送信数を推定できる。m 台の同時送信は振幅レベルの個数 2^m となる。 2^m 個の振幅レベルを各端末のチップの組み合わせと照らし合わせることでチップを推定。
- Other approaches
 - 衝突回避。 ZigBee 標準では CSMA が定められている。 ランダムバックオフと再送によって衝突回避。 隠れ端末などによって失敗するし、遅延が増加する。 RTS-CTS を使うやつは全体のスループットを低下させるので普通は無効化されている。
 - 複数パケット受信など。 キャプチャ効果を使って端末の送信パワーを異なるものとする手法とか異なるパワー設定や定められた符号によって複数パケットを区別する SIC (Successive Interference Cancellation) など。 スケジューリングとユーザが既知であることが前提。
 - ネットワーク符号化やアナログネットワーク符号化, 全二重無線通信などは無線信号の引き算をやるが, 送信信号が既知であることが必要。
 - PIP や Buzz, 仮想全二重通信では圧縮センシングを使って衝突したパケットを復調。 計算コストが高く, 遅延が問題となる。
 - 建設的干渉。 複数台で同時に全く同じパケットを送信することで通信エラーを削減。 データ収集には向かない。
 - ZigZag。 交互に部分的に信号を復調していくことで衝突したパケットを復調。 m 台の衝突時は m 回の再送を要求し, 衝突した m 個の信号を得て復調する。 mZig は 1 回の衝突信号で OK。
- Result
 - USRP を使って実装。 7 ノードのテストベッドを作成。 最大で 4 台までの同時送信を復調できたことを確認。 通常の ZigBee に比べて 4.5 倍, ZigZag デコーディングに比べて 3.2 倍のスループットを達成。
- Next papers to be read
 - S. Gollakota et al., ZigZag decoding: combating hidden terminals in wireless networks, ACM SIGCOMM, pp.159-170, Aug. 2008.

B. Chen, AirExpress: Enabling Seamless In-band Wireless Multi-hop Transmission, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - カットスルー送信. 受信した信号を復調することなく受信しながらにして送信する手法. 通信の遅延を削減するだけでなく, スループットを向上できるので有線ネットワークで利用されている.
- Problem
 - 無線通信では異なるチャネルを使うなどしてカットスルー送信により通信遅延を削減できることが報告されているが, スループットも向上できるはず.
- Approach: AirExpress
 - 無線通信においてカットスルー送信を実現する手法.
 - 基本的には全二重通信を実現すれば良いが, forwarder interference, cross-hop interferenceという干渉についても考えないといけない. 転送時は自分が送った信号が転送されているので, これを利用して引き算することで干渉を除去できる. 学習ベースでチャネルなどの情報を取得し, 干渉を除去する演算を行う.
- Other approaches
 - 有線では普通に行われている技術. ヘッダだけ復号して転送していくことで遅延とメモリ使用量を削減できる.
 - 無線分野においては, 異なる周波数を使うことでカットスルー送信を実現して遅延を削減するやつ. 有線のカットスルー送信をチップレベルのパイプライン処理に応用している例もある.
 - 無線の全二重通信が提案されて以降は2 hopの無線カットスルー送信実現に向けた模索が行われているが, 全送信機のチャネル情報が必要である. また, 3 hop以上のものも報告されているが, カットスルー特有の干渉を全て通常の干渉と同様に扱っているため, 現実環境では性能が悪い.
- Result
 - NI (National Instruments?) ベースのSDRを使って実装. 2.4GHz ISMバンドを使い, 4ホップのAirExpress通信において最大で3.4倍のスループット向上を達成.
 - 通信トレースを使ってns3によってシミュレーション評価. TDMAに比べて平均で2.85倍にスループット向上.
- Next papers to be read
 - D. Bharadia et al., Fastforward: Fast and constructive full duplex relays, ACM SIGCOMM 2014.
 - B. Chen et al, In-band wireless cut-through: Is it possible, ACM HotWireless, 2014.

- Scenario
 - 多数のアンテナを持つMU-MIMO研究開発が盛んに進められている。
- Problem
 - 制御チャネルの研究が進められておらず、非CSI(Channel State Information)モードで制御が行われる。CSIモードと非CSIモードには利得などの性能ギャップが存在するので、MU-MIMOの利点が一部損なわれてしまう。
- Approach: Faros
 - 開ループビームフォーミングと符号化利得によってSIモードと非CSIモードのギャップを小さくする。
 - 制御チャネルにもなるべくCSIモードを利用する。CSIモードを確立するために必要な時間周波数同期、接続の確立、CSIの収集、ページング、ランダムアクセスだけは非CSIモードを使い、他はCSIモードで制御通信を行う。
 - 同期と接続確立の時間制約は厳しくないため、同期の頻度を減らすことで通信のオーバーヘッドを削減する。
- Other approaches
 - MU-MIMOにおいてCSIモードと非CSIモードのギャップ問題を解決する研究はこれまでにない。
 - MU-MIMO向けの制御チャネルに関しては、時空間ブロック符号化を使う手法や理論的な理想論を述べているやつが報告されているが、ギャップ問題を考えていなかったり、Farosとは異なる結果が得られている。
 - 開ループビームフォーミング。色々研究されている。Farosではどれを使ってもいい。
- Result
 - 2.4GHzで動作するArgosを用いて108のアンテナを持つMU-MIMOを実装して実証評価。40dBを超える利得を実現。これはアンテナ当たり100 μ W, 合計10mWの送信出力で250mを超える通信距離を実現できる利得に相当する。

Y. Cui, QuickSync: Improving Synchronization Efficiency for Mobile Cloud Storage Services, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - DropboxやOneDrive, GoogleDriveなどのクラウドストレージの普及. モバイルでも利用する. 更新ファイルは自動的に同期される.
- Problem
 - モバイル端末においては大きな遅延や接続断のために同期の効率が悪く, 同期が遅い.
- Approach: QuickSync
 - オンラインストレージの効率的な同期システム. 3つの手法を組み合わせている.
 - Network-aware chunker: ネットワーク状態に応じたデータ分割.
 - Redundancy eliminator: 似たような分割データを差分エンコード.
 - Batched syncer: オーバーヘッドを削減する同期プロトコル.
 - これらの手法は同期の通信を解析した結果として実装している.
- Other approaches
 - 性能測定系. クラウドストレージに関する性能測定は多数報告されている. デスクトップをターゲットとしているので, モバイルはほとんど報告されていない. 同期通信の性能を測定してほとんどがムダな通信であることを示しているものがある. これを拡張し, 根本原因を探っているのがこの論文.
 - クラウドストレージシステムの設計に関するもの. ほとんどが個人のものでなく企業向けを対象としている. 同期を適応的に延期させるASD (Adaptive sync defer) というのがあるが, Batched syncerは同期の中断や差分同期に関してさらに効率的. ViewBoxでは破損した分割データを検出してデータの一貫性を保つ仕組みを提供している. この手法はQuickSyncとは独立に適用可能.
 - コンテンツベースのデータ分割 (CDC: content defined chunking) と差分符号化. QuickSyncでもCDCと差分符号化の考えを使っている. これらをそのまま使うのではなく, どのように効率的に利用するかという点に新規性がある.
- Result
 - DropboxとSeafilerを使ってQuickSyncを実装. 実証評価によって同期時間が最大で2.9%削減できたことを確認.

S. Singh, FlexiWeb: Network-Aware Compaction for Accelerating Mobile Web Transfers, ACM MobiCom 2015

- Scenario
 - モバイルでのWebブラウジング. ページロードが遅いため, 圧縮して高速化する手法が使われている.
- Problem
 - 圧縮することが必ずしも速くならない. 通信環境が良い場合はむしろ遅くなる. 特に小さいサイズのオブジェクト(画像やスクリプト)が多い場合に顕著な影響がある.
- Approach: FlexiWeb
 - 圧縮ミドルウェアをいつどのように使うのかを決めてページロードを高速化するフレームワーク.
 - ロードするオブジェクトサイズとネットワーク状態に応じて圧縮するか否かを決定する実験的モデル.
 - オブジェクトのURLから取得した特徴量を元にオブジェクトのサイズを予測する分類器.
 - スクリプトや文書は可逆圧縮をするが, 画像に対してはクライアントまでのネットワーク帯域に応じて適応的に圧縮方法を選択する圧縮器.
- Other approaches
 - 性能測定系. 例えば, SPDYはモバイル環境では必ずしも高速化できないことが報告されている. また, Amazon SilkなどのシンクライアントWebブラウザを使う手法もページロード速度や消費電力の面ではっきりとしたメリットが無いことも報告されている.
 - クライアントでの対策系. 動的Webコンポーネントの処理を並列化する手法や小さいWebページに仮想的に分割して複数プロセスで並列に取得する手法など.
 - ユーザスタディ. 未来のWebブラウジングを予測してpre-fetchする手法. 圧縮するか否かを選択的に決定するような手法は報告されていない.
 - プロキシ使う系. モバイル端末の計算資源は限られているので, 一部をオフロードするのが基本. 動的コンテンツをプロキシで処理するもの, 圧縮した転送をサポートするブラウザなどがある. これらはネットワーク状態を気にしないで全部を圧縮してしまう.
- Result
 - オープンソースブラウザChromiumとGoogleのオープンソースの圧縮プロキシを改変してFlexiWebを実装. AT&TとT-Mobileの4Gネットワークを使って移動中, 停止中の両方で実証評価. 圧縮を使う既存手法と全く使わない手法に比べてページロード時間を平均35~42%削減.

-
- Scenario
 -
 - Problem
 -
 - Approach
 -
 - Other approaches
 -
 - Result
 -
 - Next papers to be read
 -