

平成 27 年度学術交流支援資金

「マルチプロトコル電波到来方向検知システムに関するジョージア工科大学との共同研究」報告書

環境情報学部 三次 仁

▪

▪ 研究の背景

近年、携帯やスマートフォンはいうまでもなく、カメラや腕時計なども WiFi, Bluetooth、ZigBee などの無線通信機能を具備するようになってきた。業務系でも、アパレルにおける店舗オペレーションの効率化、流通業における、かご台車やパレットの管理や、欧州を中心に始まっている Industrie 4.0 や米国の Industrial Internet Consortium による製造・生産プロセス管理、サプライチェーンマネジメントなどにパッシブ・アクティブ RFID やワイヤレスセンサーネットワークが利用されるようになってきている。無線通信を利用し、エネルギーハーベスト、パッシブ給電あるいは電池を用いることで、配線が不要になるため、モノの移動や設置が自由になる。一方、モノが移動できるということは逆に紛失することにもつながり、無線通信があるならば、それによってモノの所在も特定したいという要望は高い。受信電波の強さ(RSSI)を用いた手法が、FingerPrinting などの方法も含めて多数提案されている。しかし、小型の無線機を用いる場合には、アンテナは無指向性に近づき、インドアでは電波の反射による定在波が存在するため、距離に応じて RSSI が減少することが想定できる場合ばかりではないため、RSSI だけを頼りにモノの所在を特定することは一般的には困難である。一方、複数アンテナを用いたアレイアンテナシステムを用いて、それぞれのアンテナで受信する時間や、電波の位相差を用いて、電波の到来方向を高精度で検知する方法も多く提案されているが、通常信号処理部で受信信号の位相を計測するため、処理装置が高価になることが多く、一般にはなかなか普及していない。

一方、以前に比べて大幅に安価なソフトウェア無線(SDR)装置の入手が可能となっている。たとえば RealTec RTL2832U というチップは 8 ビット IQ データを 3.2Ms/s で外部出力することができ、それに GnuRadio などのフリーソフトを用いて信号処理することで、FM ラジオや、テレビチューナなど様々な無線アプリケーションを送出できる。モジュール価格は数千円と極めて安価である。このチップでは WiFi や Bluetooth が用いる 2.5GHz 帯をカバーす

ることはできないが、少し高い(6万円弱)Nuand bladeRF モジュールでは、300MHz-3.8GHz を 12bit, 40Ms/s でカバーしており周波数範囲としては十分である。こうした最新の状況ではやや割高感があるが、Ettus USRP (現在 NI) (20万円程度:40-2.2GHz, 25Ms/s 16bit サンプル) は最も広く使われているプラットフォームである。こうした普及型 SDR 装置は、一般的に位相安定度に問題があることと、信号処理をホスト側で実施するため、広帯域(高速)処理には向かないことに留意すれば、様々なアイデアを試すことができる便利かつ楽しいプラットフォームである。

こうした背景により提案者らは、普及型 SDR 装置と BeagleBone や OpenBlocks などの超小型 Linux プラットフォームを組み合わせたマルチプロトコル電波到来方向検知装置の研究開発を進めている。研究の特徴は既存の RFID リーダライタや、WiFi などの AP などと組み合わせて用いることで、送信機能を持たせずにコスト低減を図るとともに電波法令を遵守すること、および電波到来方向検知方法として単純なモノパルス方式を用い、信号処理での位相検知機能を不要とすること、そしてモノパルス方式を利用したターゲット方向指示と人力による機械方向制御の組み合わせにより、利得を落とさずに電波到来方向を追い込むハイブリット制御にある。装置の実装イメージを図 1 に示す。RF タグなどの小電力無線端末が取り付けられた物品が棚にあり、読み取り装置を持った作業者が目的の物品を探している。読み取り装置が特定の ID によって目的の物品を読み出し、Raspberry Pi などを用いて作成する RF ボードにより電波到来方向を算出し、推定方向にレーザポインタ等を向ける。作業者が目的の物品に近づくほど算出される方向の精度があがり、最終的に目的の物品を見つける事ができる構想である。このシステムを構築するためには、無線プロトコルの分析機能や電子制御と機械制御の連携時の安定制御などの問題に加えて、広帯域アンテナと正確な位相合成回路などの高度な RF フロントエンド技術が必要であり、RF 分野に強いジョージア工科大学と共同研究することにより、構想の実現を加速する。

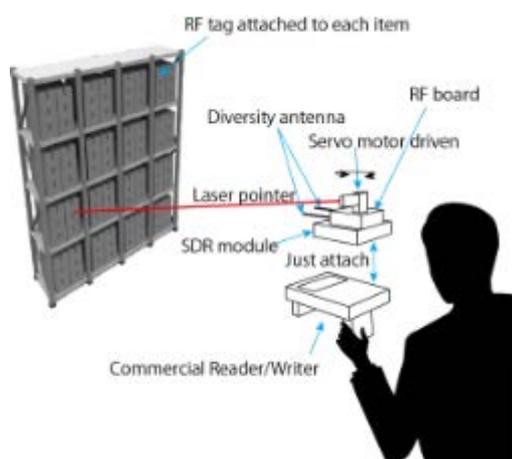


図 1 マルチプロトコル電波到来方向検知システムの実装イメージ。

平成 27 年度の共同研究活動

本研究テーマに関し、平成 27 年度はメールでの交流を中心に行うとともに、9 月 16 日 - 9 月 18 日に東京で開催した IEEE RFID-TA にジョージア工科大学の Durgin 教授の研究チームが来日した際に、学生 2 名、研究助手 1 名も加えて、本共同研究の進捗に関して、特別ワークショップを 9 月 19 日(土)に三田キャンパスで開催した。この特別ワークショップには、Auto-ID ラボと共同研究を進めている電気通信大学の研究チームも参加した。



図 2 三田キャンパスで開催した特別ワークショップの様子

研究成果

本共同研究によって、COTS SDR 装置を用いた到来方向検知を行うためには、位相同期した信号合成が重要であることを明かにし、そのためにはアナログフロントエンドを用いる方法[1]をまず開発した。さらに、モノパルス方式は主にレーダ分野で活用されているため複数アンテナに対する入射方向が平行と見なされているが、近距離無線においてモノパルス方式を活用する場合でも同様に、入射方向を平行とみなしても大きな誤差が生じない事を明らかにした。図 2 は要素アンテナ間の距離を反波長とし、通信距離を変化させた場合に 2 つの要素アンテナへの入射方向が平行と想定した場合と、幾何学的な角度の差分を示している。電波到来方向が 40 度の時の位相誤差が一番大きいですが、その場合でも誤差が小さいことがわかる。電波到来方向検知の精度評価実験は RF タグのエミュレータを用い電力を変える事で通信距離を模倣的に変化させ、電波到来方向を 10 度ずつ変えて実伝搬環境で行った。実験結果を図 3 に示す。全体の誤差の平均は 2.2 度であり、通信距離が 7.3m の時でも誤差が少なく、実用に十分堪える精度で電波到来方向検知が可能であること示した。また、その後の検討によりクロック同期と、フレーム同期を行うことで、アナログフロントエンドを用いずとも信号合成が可能であることが明かとなった[2]。さらに複素モノパルス方式を用いることで、到来方向検知に必要な、反射波の存在を簡単に検知できることも明らかにした。

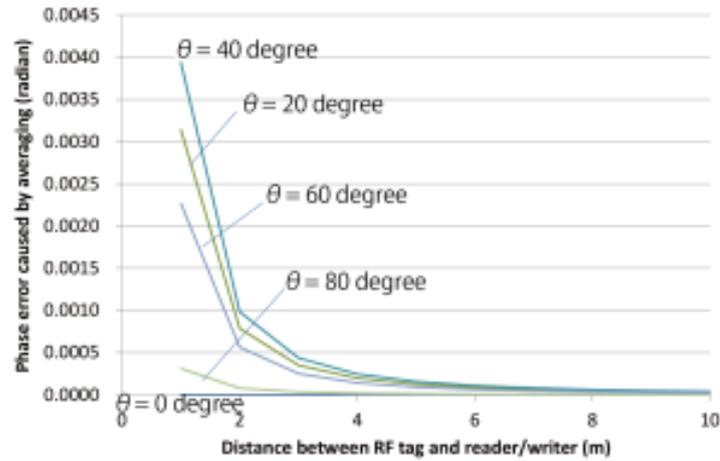


図 3 二つの要素アンテナへの入射方向が平行と想定した場合の位相誤差

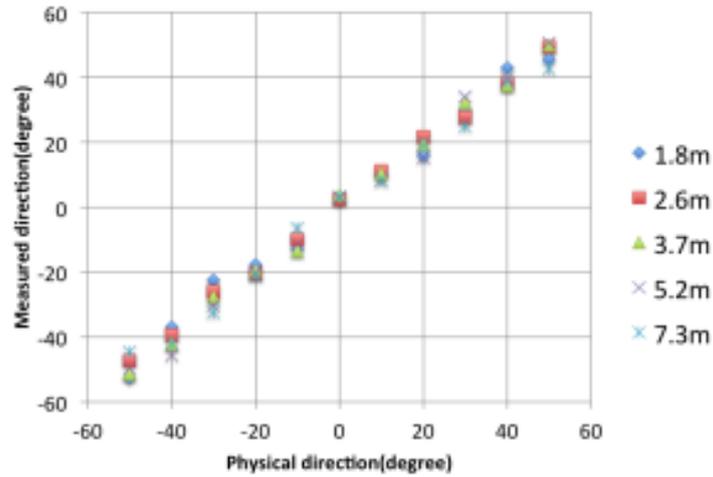


図 4 電波到来方向検知の実験結果

参考文献

[1] Masato Miyazawa, Yuki Igarashi, Jin Mitsugi, “A Feasibility Study of Plug-in Type RF Tag Localization System for Handheld UHF RFID Reader/Writers”, APCC2015, October, Kyoto, 2015.

[2] 宮澤 真賢、五十嵐 祐貴、三次 仁、”普及型 SDR を用いた複素モノパルス方式による到来電波方向検知”、信学技報, vol. 115, no. 355, AP2015-155, pp. 7-10, 2015 年 12 月