

スタジオ題目 Angle of Arrival推定を目的としたヌルステアリングアンテナ
に関する研究
学籍番号 19NC540 氏名 田村 成
指導教官 新井宏之 教授
論文提出日 令和3年3月8日

近年、Real Time Location System (RTLS) や Point of Interest(POI) など屋内測距技術を用いた商用サービスが注目されている。これらの通信サービスは工場や施設でのヒト・モノの動線分析や遺失物の探索サービス等、幅広い市場の潜在性を持つ。屋内位置推定は Global Positioning System (GPS) を用いた測定では精度が劣るため、高信頼のサービスを提供する技術が必要であり、様々な研究が行われている。注目される推定手法として 2.4GHz-2.5GHz 帯を用いた Bluetooth 通信や BLE ビーコンを用いた位置推定がある。これらの推定ではネットワーク型位置推定である angle of arrival (AoA) 推定を利用する。AoA 推定はアレーアンテナなどを用いた測角による推定であり、低コストで分解能が高いアンテナに関する研究が必要不可欠である。RTLS のような屋内位置推定では、推定対象は特定の電波を射出するモバイルタグやビーコンである。受信信号が既知信号である故、受信できなくなる角度から方向を推定する手法が適用可能である。そのため、ヌルを走査するヌルステアリングアンテナを利用できる。ヌルステアリングアンテナは衛星やレーダー等の干渉波抑圧用アンテナとして注目され、様々な研究が報告されている。しかし走査における問題として走査面にヌルの数が複数ある、給電構造が複雑で量産に適さない、損失が大きく方向推定に十分なヌルの深さを確保できない、など方向推定アンテナに適さない。

以上の背景を踏まえ、本論文では、AoA 推定を目的としたヌルステアリングアンテナに関する研究を報告する。提案アンテナは2素子のダイポールアンテナアレイと背面に取り付けられる反射板から構成される。ヌルを走査する際、走査角度によって相互結合の影響を強く受けるため、ヌルの特性が大きく変動する問題が発生する。この性質を改善するために、深いヌルを形成する手段として無給電素子を用いた。無給電素子を適用することでヌルの変動が小さくなる無給電素子の配置が存在することをパラメータの検討から明らかにした。また、無給電素子が素子間相互結合に影響を与えない一方、反射板両端から放射される回折波を変化させることを電界分布より示した。これよりヌル特性改善の原理が無給電素子による回折波の制御によって回折波とアンテナ素子間相互結合が互いに緩和されるという見解を示した。実験では 120 度の走査面内において異なる位相差を持つ給電回路を利用することで-30dB を超える深いヌルが形成されることを確認した。以上より、AoA 推定を目的としたアンテナにヌルステアリングアンテナを適用することが十分有用であることを解析と実験の両方の考慮を以って示した。

スタジオ題目 High Impedance Surface を用いたヌルステアリングアンテナ
に関する研究

学 籍 番 号 19NC540 氏 名 田 村 成

指 導 教 官 新井宏之 教授

論文提出日 令和3年3月8日

5G や IoT の 実 用 化 及 び 普 及 に よ り、 現 社 会 で は 無 線 通 信 に よ る ア プ リ ケ ー シ ョ ン ・ サ ー ビ ス が 増 加 し て い る。 屋 内 位 置 推 定 を 利 用 し た サ ー ビ ス は 生 産 管 理 が 必 要 な 工 場、 高 齢 者 の ケ ア が 行 わ れ る 介 護 施 設 な ど に 積 極 的 に 利 用 さ れ て お り、 IoT 端 末 や 携 帯 端 末 な ど の 小 型 機 器 を 介 し て 通 信 ネ ッ ト ワ ー ク の 形 成 が さ れ る。 Angle of Arrival 推 定 は 他 推 定 手 法 と 比 較 し て 小 規 模 な ネ ッ ト ワ ー ク 設 計 で 実 装 可 能 で あり、 多 くの 位 置 推 定 ア プ リ ケ ー シ ョ ン に 利 用 さ れ て い る。 AoA 推 定 で は ア ン テ ナ が 位 置 情 報 を 決 定 す る た め、 使 用 す る ア ン テ ナ の 選 択 が 推 定 精 度 に 大 き く 影 響 す る。

本 論 文 は、 コ ン パ ク ト か つ 高 精 度 な AoA 推 定 が 行 え る ヌ ル ス テ ア リ ン グ ア ン テ ナ に つ い て の 研 究 成 果 を 報 告 す る。 提 案 ヌ ル ス テ ア リ ン グ ア ン テ ナ は ア ン テ ナ 放 射 面 に 1 点 の 最 小 電 力 強 度 (ヌル) を 持 ち、 こ の ヌ ル を 用 い て 到 来 方 向 を 推 定 す る。 製 造 が 容 易 な 反 射 板 ダイ ポ ール ア ン テ ナ を 利 用 し、 低 姿 勢 化 と 高 精 度 化 を 同 時 に 実 現 す る た め に メ タ サ ー フ ェ ス の 1 つ で あ る High Impedance Surface (HIS) を 反 射 板 に 適 用 す る。

本 提 案 ア ン テ ナ は HIS が 有 す る Artificial Magnetic Conductor (AMC) 特 性 を 活 用 し、 昨 年 度 に ス タ ジ オ 成 果 物 と し て 報 告 し た ヌ ル ス テ ア リ ン グ ア ン テ ナ よ り ア ン テ ナ 高 さ を 70% 削 減 し た。 ま た、 高 精 度 化 に お い て は ア ン テ ナ の ヌ ル 強 度 の 変 動 を 抑 制 す る こ と に 取 り 組 ん だ。 HIS 上 面 に 配 置 さ れ た ア ン テ ナ が HIS に 表 面 波 を 励 起 さ せ る こ と で、 ア ン テ ナ 端 部 で の 表 面 波 回 折 と ア ン テ ナ モ ー ド に よ る 放 射 が 組 み 合 わ さ っ た 放 射 指 向 性 を 形 成 す る。 こ れ に よ っ て ヌ ル 強 度 の 変 動 を 広 帯 域 に わ た っ て 抑 制 で き る こ と を 示 し た。

実 験 で は 提 案 ヌ ル ス テ ア リ ン グ ア ン テ ナ の 基 本 特 性 (反 射 特 性 ・ 相 互 結 合 及 び 素 子 指 向 性) を 測 定 し、 解 析 の 結 果 と ほ ぼ 合 致 し た 結 果 を 得 た。 加 え て 3 種 類 の 固 定 遅 延 線 路 を 用 い て ヌ ル パ タ ー ン を 測 定 し、 -30 度 か ら 30 度 ま で 150 MHz の 帯 域 で -30 dB を 超 え る ヌ ル を 安 定 し て 形 成 す る こ と を 確 認 し た。 実 装 で は ヌ ル の 電 気 制 御 が 好 ま れ る た め、 低 損 失 で ヌ ル を 連 続 に 形 成 で き る よ う な 給 電 回 路 を 設 計 ・ 製 作 し た。 提 案 ア ン テ ナ と 製 作 し た 給 電 回 路 を 接 続 し た 結 果、 給 電 回 路 を 介 す る こ と で ヌ ル の 変 動 が 顕 著 に な る 結 果 を 得 た。 こ の 結 果 と 固 定 遅 延 線 路 を 用 い た 際 の 結 果 を 比 較 し、 移 相 器 を 用 い た ヌ ル 形 成 で は 損 失 変 動 を 0.4 dB 以 下 に 抑 制 す る こ と が 重 要 で あ る と 判 断 し た。

以 上 よ り、 メ タ サ ー フ ェ ス の 1 種 類 で あ る HIS を ア レ ー ア ン テ ナ と 組 み 合 わ せ る こ と で、 こ れ ま で に 報 告 さ れ て い な い ア ン テ ナ 特 性 を 得 る こ と が で き、 解 析 ・ 実 験 の 両 面 か ら 良 好 な 特 性 が 得 ら れ た。 ま た、 実 用 上 の ア ン テ ナ シ ス テ ム の 課 題 を 発 見 し、 そ の 解 決 策 に つ い て 提 言 し た。