SR2020-1

ソフトウェア無線機USRP X300を用いた 非因果的成分を考慮した チャネルインパルス応答測定の実現



本資料は、下記での報告資料であり、その時点での研究のスナップショットに相当します.

中浜智也,山田洋士, 亀田 卓, 本良瑞樹, 末松憲治, "ソフトウェア無線機USRP X300を用いた非因果的成分を考慮したチャネル インパルス応答測定の実現," 信学技報 SR2020-1, vol. 120, no. 53, pp. 1-8, Jun. 2020.

2020年6月4日 スマート無線研究会

目的と得られた主な結果(1)

- ソフトウェア無線機 USRP X300を用いて伝搬路のチャ ネルインパルス応答(CIR)測定を実現したい
- 実使用状態でのCIR測定が重要(全二重通信のプロト タイピングなど)
- USRP X300の送受信間での同期の実現が必要
- 提案法でのCIR測定精度の評価の実施
- ✓ UHD timed commands使用によりタイミング同期を実現 (UHD: USRP Hardware Driver 使用時)
- ✓ SBX-120(0.4~4.4GHz), UBXドータボード(10MHz~6GHz)での同期動作を実現

目的と得られた主な結果(2)



- ✓ 特性が既知のopen stubのCIR測定結果をVNAと比較
- ✓ サンプリング周波数Fsb=20MHz,キャリア周波数Fc=920MHz の条件で 0.2dB/1.2度の 振幅/位相誤差
- ✓ 室内でのCIR測定結果において、非因果的成分の有無が精度 に影響することを示した

非因果成分の存在例





どんな手法でインパルス応答を測定するか



測定系の特性と真の伝搬路特性

伝搬路そのものの特性H(z)を求める場合は 測定系の特性Q(z)を打ち消す必要がある.



測定系の特性を含むチャネルインパルス応答推定 (ソフトウェア無線機の実使用状態に相当)

近似逆システムの推定

遅延を付加して, Delayed inverseとして測定系の近似逆システムを算出



近似逆システム算出条件

信号源w(n)	分散1,平均0の ガウス性白色雑音
遅延量D	1000
適応フィルタのタップ長	2000
アルゴリズム	NLMS
ステップサイズ	0.05

測定系の特性のキャンセル

算出したq_{inv}(n)とh(n)を畳み込むことで, 伝搬路そのものの特性に単純遅延を含んだ結果を得る.



✓ 周波数領域での除算を回避して,真のCIRを得ることが可能



実際のアルゴリズムは以下の式のように実装した.



h'(n)からのh(n)の切り出し





表3 本稿でのすべての計算条件 切り出し遡及数 N_c = 143 DFT点数 M = 1024 ※信号点数 N = 262143

- Ncサンプルの非因果成分を含めてインパルス応答を切り出しすることで, Ncサンプル分の固定遅延が付加される.
- 切り出し後にNc回の円状シフトを実施

● DFTの性質より、円状シフトで振幅は変化せず、位相特性は正しく算出

Nc回円状シフト



CIR測定実施のブロック図



CIR測定に用いるGRCフローグラフ

GRC : GNU Radio Companion

※GNU Radioの自動バッファリング機構を回避するため, GNU Radio上での信号処理演算を回避

- 菅沼久浩, 長縄潤一, 鈴木誠, 猿渡俊介ほか, "ソフトウェア無線機開発支援プロファイラの設計とバッファリングによる最大遅延時間の測定," 信学ソサイエティ大会, B-17-15, Sept. 2011.
- M. Müller, Behind the Veil: A Peek at GNU Radio's Buffer Architecture, https://www.gnuradio.org/blog/buffers/

GRC+USRP環境での問題

- GRCフローグラフで自動生成されたPythonコードを実行してr(n)を観測すると, 試行ごとにr(n)が時間軸方向に変動する.
- インパルス応答を測定するためには、時間軸が揃っている必要がある.

- UHD(USRP Hardware Driver)には、uhd-timed commandsと呼ばれる 命令群により動作タイミングを制御する機能がある。
- USRP内のFPGAをカスタマイズすることなくUSRPの動作タイミングを制御できる.
- GRCフローグラフで自動生成されたPythonコードの要所に手作業でuhd-timed commandsの記述を追加することで,問題を解決する.

✓ GNU RadioおよびLabVIEWは、UHDで動作している.

✓ LabVIEW FPGAは、UHDとは異なるメカニズムで動作しているらしい.

送受信間での同期

送受信間での同期

以下のコードを追加することで同期を確立

キャリア周波数1GHz未満のときはドーターボードのクロック周波数を 20MHzに設定する必要がある

応答信号の切り出し

- 受信を先に開始
- 受信開始の500[ms]後に送信を開始
- UHD timed commandの効果により、r'(n)を切り出し すべき位置は、1サンプル単位で安定している

500[ms] × 20[MHz] = 1×10^{6} [サンプル]

テスト用の測定対象

- SMA型中継コネクタを接続して測定系の CIRを測定
- T型コネクタと同軸20mの開放スタブ
- 整数サンプル遅延・非因果成分が少ない

- 送受信アンテナ間距離 2.88m
- 送信 : 垂直ダイポール 高さ1.85m
- 受信: ツインデルタループ 高さ1.77m
- 受信アンテナを回転・受信レベル最低位置 (室内反射波を多く受信)で固定
- アッテネータなし

中心周波数	920MHz
ベースバンド信号の サンプリング周波数	20MHz
測定用信号p(n)	18次のM系列
送信側アッテネータ	20dB
受信側アッテネータ	10dB
送信信号レベル	-5.8dBm
送信開始時間	受信開始500ms後

近似逆システム算出条件

信号源w(n)	分散1,平均0の ガウス性白色雑音
遅延量D	1000
適応フィルタの タップ長	2000
アルゴリズム	NLMS
ステップサイズ	0.05

振幅・位相特性計算の条件

切り出し開始位置Nc	143
切り出し長さM (DFT点数)	1024

20m開放スタブのCIR測定結果

測定系の特性を取り除いた開放スタブのインパルス応答測定結果

20m開放スタブの振幅・位相特性

振幅特性(誤差0.2dB)

位相特性(誤差1.2度)

- ✓ VNA (アンリツMS4622B)と同等の測定結果を得ている.✓ USRPの入出力端子のリターンロスは,明らかにVNAに劣る.
- ✓ 測定条件は、VNAよりも柔軟に変更可能.

室内伝搬路のCIR測定結果

室内伝搬路の振幅・位相特性の比較

まとめ

- ソフトウェア無線機 USRP X300を用いて伝搬路のチャネルインパ ルス応答(CIR)測定を実現
 - ✓ 真のCIRと測定系の特性を含むCIRの両方の測定に対応
 - ✓ uhd-timed commandsの利用により安定な測定を実現
 - ✓ Delayed inverseの利用により、周波数領域での除算を回避
- 特性が既知のopen stubのCIR測定結果をVNAと比較
 - ✓ サンプリング周波数Fsb=20MHz,キャリア周波数Fc=920MHzの条件
 で 0.2dB/1.2度の 振幅/位相誤差
- 室内でのCIR測定結果で、非因果的成分が測定精度に影響することを示した
 - ✓ D/A・A/D変換器など測定系の構成要素が遅延を含むことで、非因果成 分を因果的領域で測定できた
 - ✓ 測定系の特性を打ち消すことで,非因果的成分が観測されている

準備中