

高分解能、低コスト 超高速位相変調信号の品質評価法

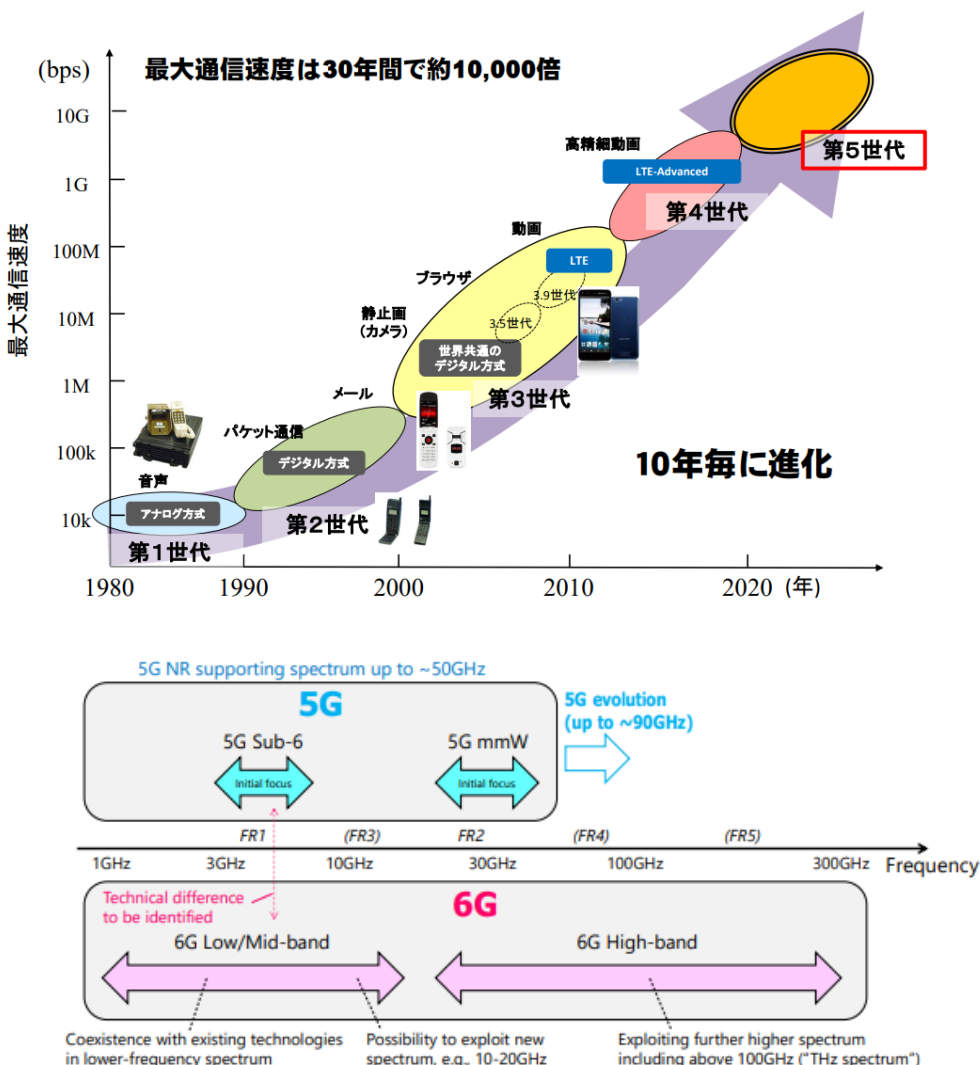
2021年12月21日

日本大学 理工学部 電子工学科
教授 大谷昭仁

<http://mail.ecs.cst.nihon-u.ac.jp/~otani-opt/>



社会的背景(超高周波電磁波の利用状況)



国・地域	6GHz 以下	24GHz 以上
米国	614-698MHz (放送用周波数を再編し 2017 年 2 月に割当) 1675-1680MHz (連邦気象衛星との共用を提案) 3450-3550MHz (国防総省が 5G への開放を検討中) 3550-3700MHz (市民ブロードバンド無線サービスとして配分。 うち 3550-3650MHz を 2020 年 7 月にオークション実施) 3700-4200MHz (FCC が共用又は再編を検討中) 2.5GHz 帯 (教育ブロードバンドサービス (EBS) を 5G に配分)	27.5-28.35GHz (2019 年 1 月に割当) 24.25-24.45GHz、24.75-25.25GHz (2019 年 4 月に割当) 37.6-38.6GHz、38.6-40GHz、47.2-48.2GHz (2020 年 3 月に割当) <u>57-64GHz、64-71GHz (免許不要利用)</u>
欧州	700MHz (全国・屋内の 5G カバレッジ用) 3400-3800MHz (2020 年までに 5G サービスを導入するためのプライマリーバンド)	24.25-27.5GHz (24GHz 以上での 5G 先行導入のパイオニアバンド) 40-43.5GHz (衛星セクターを考慮しながら 5G バンドとして検討) 66-71GHz (免許不要利用) ※31.8-33.4GHz は 5G 候補周波数から削除
中国	700MHz 【中国広電 (50MHz 幅)】 2600MHz 【中国移動 (160MHz 幅)】 3300-3400MHz (原則屋内利用) 3400-3600MHz 【中国電信 (100MHz 幅/中国联通 (100MHz 幅)】 4200-4400MHz (航空無線ナビゲーションとの共用検討) 4400-4500MHz 4800-5000MHz 【中国広電 (50MHz 幅)】 ※3300-4200MHz、4500-5000MHz は干渉調整作業が必要	24.75-27.5GHz 37-42.5GHz
韓国	3400-3700MHz (3420-3700MHz を 2018 年 6 月に割当) 2.3GHz 帯 (90MHz 幅)、3.4GHz 帯 (20MHz 幅)、3.7-4.2GHz (400MHz 幅)	26.5-29.5GHz (26.5-28.9GHz を 2018 年 6 月に割当) 24GHz 以上の帯域から 2GHz 幅
日本	3400-3600MHz (割当済み) 3600-4200MHz (3600-4100MHz を 2019 年 4 月に割当) 4400-4900MHz (4500-4600MHz を 2019 年 4 月に割当) 4600-4800MHz (ローカル 5G に配分予定)	27-29.5GHz (27-28.2GHz、29.1-29.5 を 2019 年 4 月に割当) 28.2-28.3GHz (ローカル 5G として 2019 年 12 月より免許申請受付開始) 28.3-29.1GHz (ローカル 5G に配分予定)

THz波利用の可能性も進む



https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper_6g/DOCOMO_6G_White_PaperJP_20211108.pdf より一部抜粋

https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/linkdata/r02_01_houkoku.pdf より一部抜粋

https://www.soumu.go.jp/main_content/000519956.pdf より一部抜粋



信号品質評価に関わる従来技術とその課題 ①

波形による品質評価装置の例

リアルタイムオシロ



被測定信号の周波数 $\propto$ サンプルングレートの高さ

UXR0051AP

UXR0051APは、5 GHzの帯域幅、1チャンネル、および1 mm入力を備えたInfiniium UXRシリーズ リアルタイムオシロスコープです。➤

ウェブ見積

帯域幅:

5 GHz

最大サンプルレート:

256 GSa/s

最大メモリ長:

2 Gpts max, 200 Mpts standard

立ち上がり／立ち下がり時間 (最小値):

7.5ps(10-90%), 5.3ps(20-80%)

帯域幅アップグレード:

up to 110 GHz via FW

タイプ:

Real-Time

Quick View

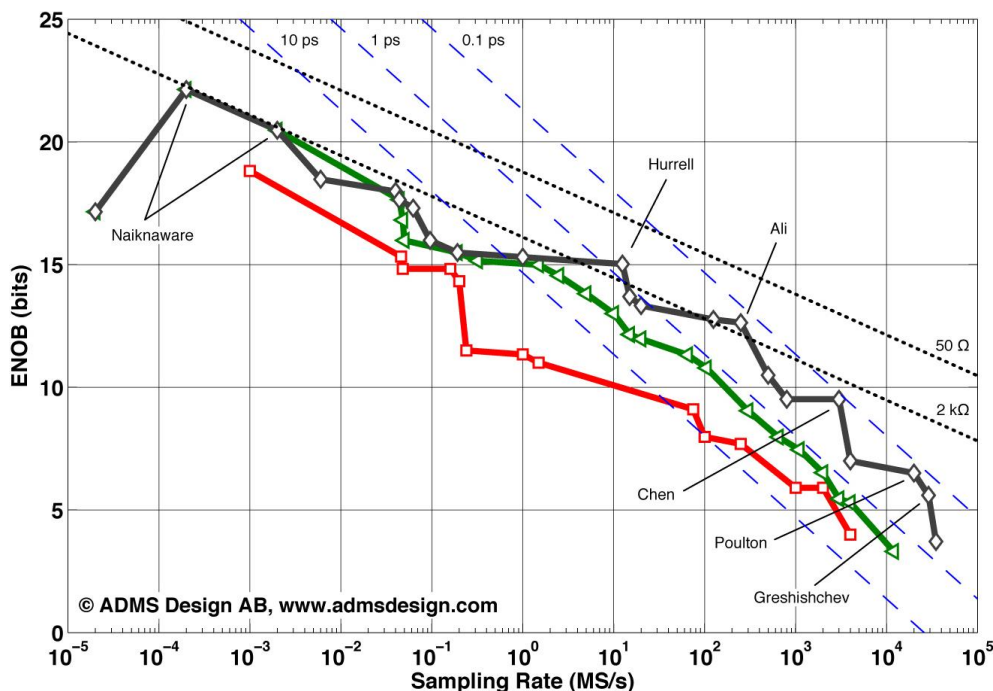
注意

<https://www.keysight.com/jp/ja/products/oscilloscopes/infiniium-real-time-oscilloscopes/infiniium-uxr-series-oscilloscopes.html> より一部抜粋



信号品質評価に関わる従来技術とその課題 ②

従来技術： 高速な信号を直接、高速なADCでオーバサンプリングして波形を測定後、信号品質を計算



サンプリングレートと有効ビット数の関係例(参考)

従来技術の課題

サンプリングレートが高くなる ➡ 縦軸の分解能が劣化
サンプリングレートが高くなる ➡ 価格が高くなる



信号品質評価技術の限界



<https://converterpassion.wordpress.com/2012/08/16/ad-converter-performance-evolution-sampling-rate-and-resolution/> より一部抜粋



信号品質評価に関わる課題解決の手段 ①

高速な信号情報を低周波化できれば、低周波なADCを用いることができるため、低価格高分解能なADCを利用することができ、高周波信号品質評価の信頼性の向上と、低価格化が実現可能



リアルタイムサンプリング法のような単発信号にも対応することをやめ、繰り返しの信号の品質評価に限定して考える。



アンダーサンプリング技術の積極的活用を検討

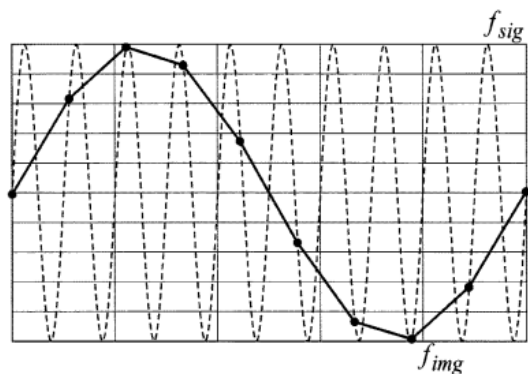


信号波形の時間軸拡大の利用

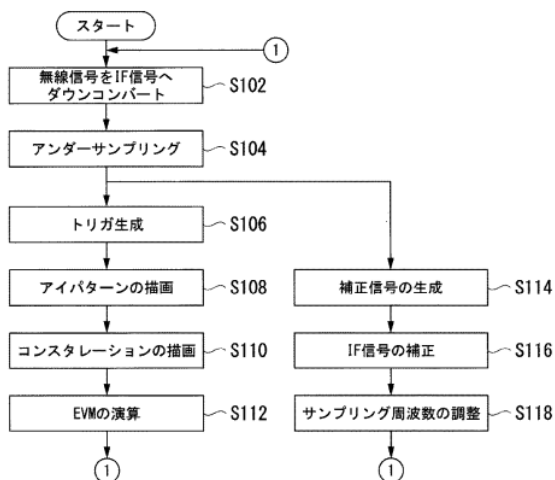


信号品質評価に関わる課題解決の手段 ②

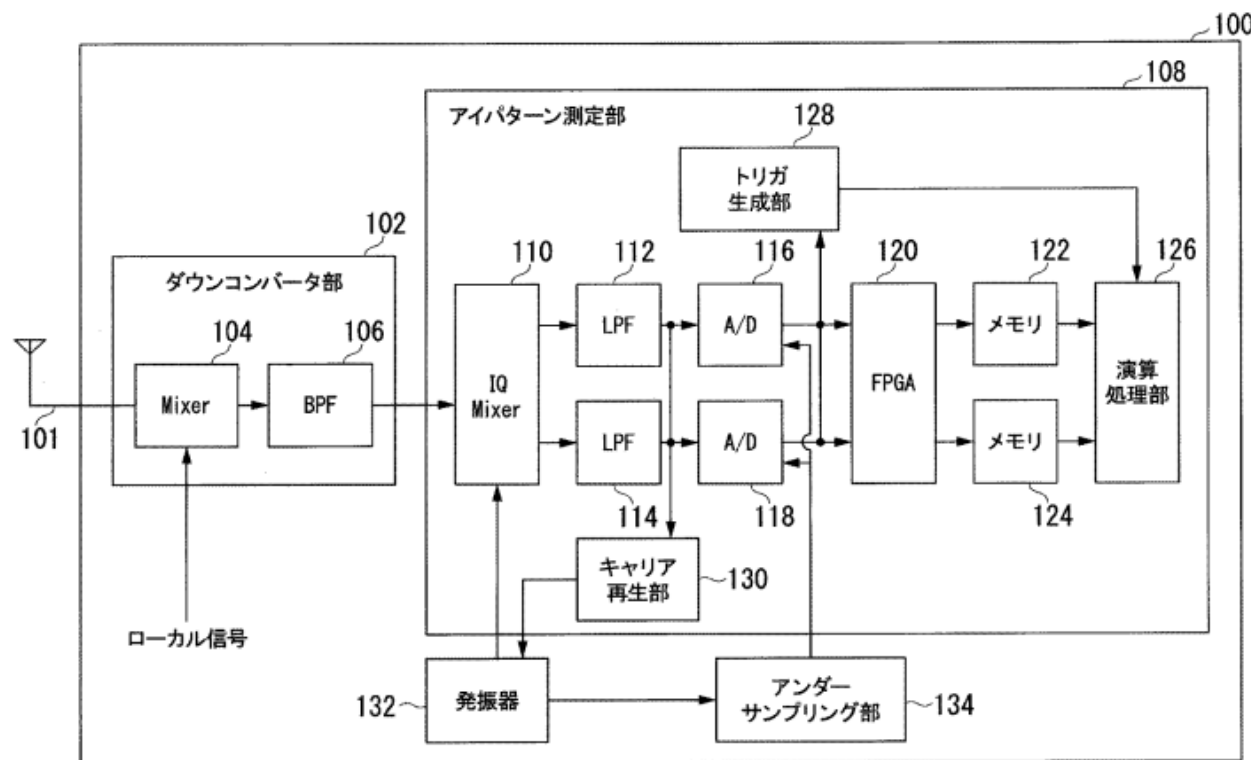
アンダーサンプリング技術を用いたQPSK位相変調信号品質評価技術の提案(ハード例)



アンダーサンプリングの原理



アンダーサンプリング技術を用いたQPSK位相変調信号の品質評価の信号処理例



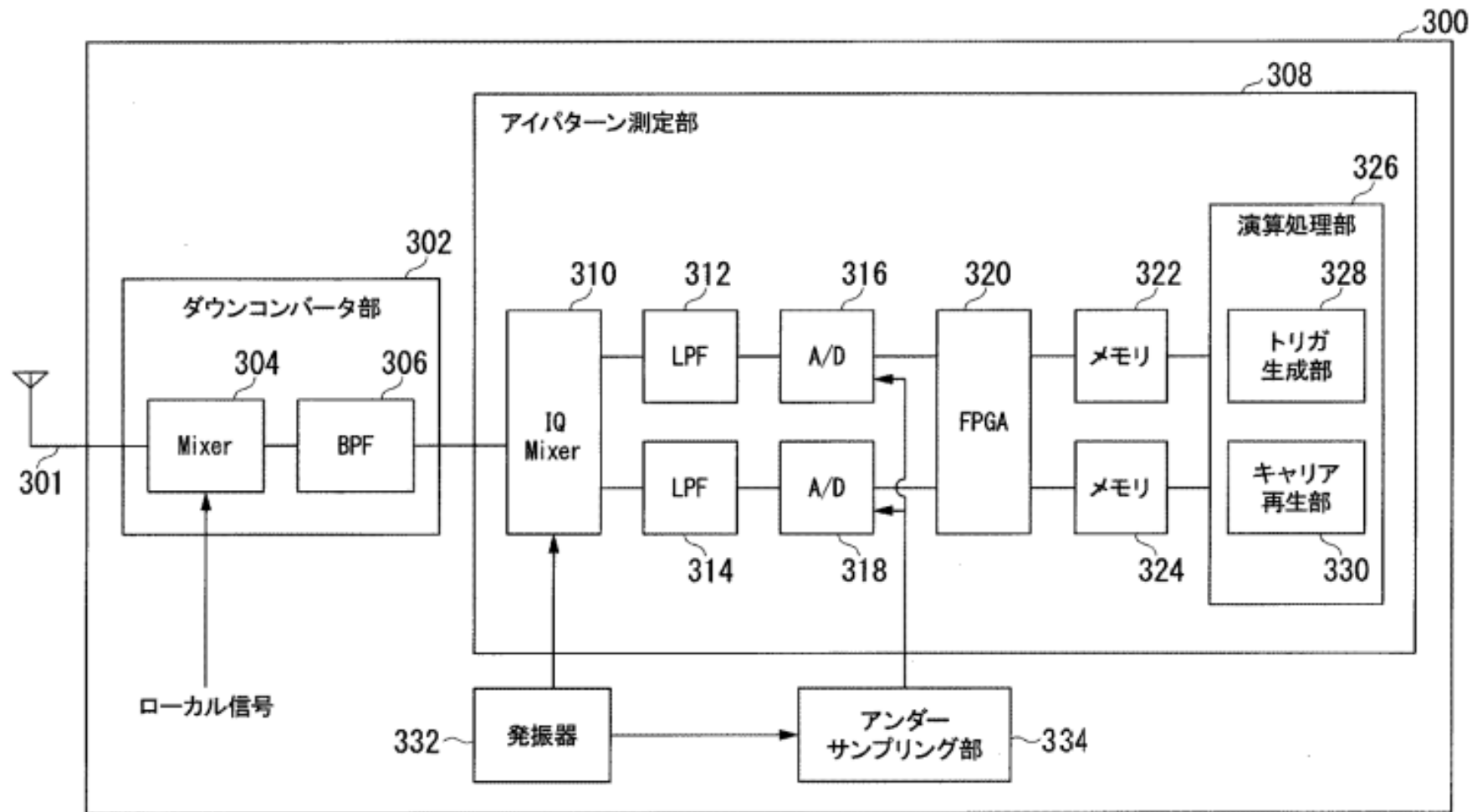
特徴:

信号波形そのものではなく、**アイパターン**からEVMの算出と同期信号を生成



信号品質評価に関わる課題解決の手段 ③

アンダーサンプリング技術を用いたQPSK位相変調信号品質評価技術の提案(ソフト処理)

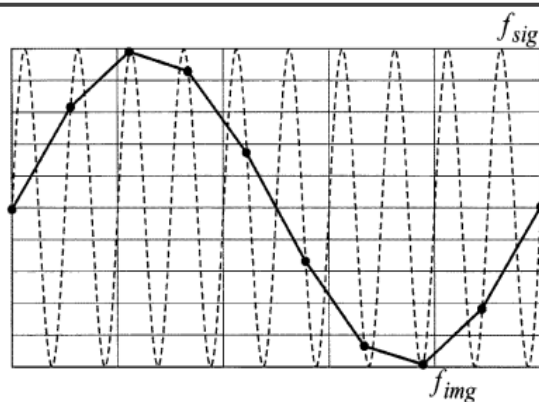


QPSK位相変調信号品質評価装置のブロックダイアグラム



信号品質評価に関わる課題解決の手段 ④

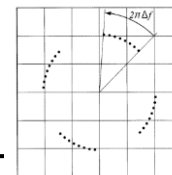
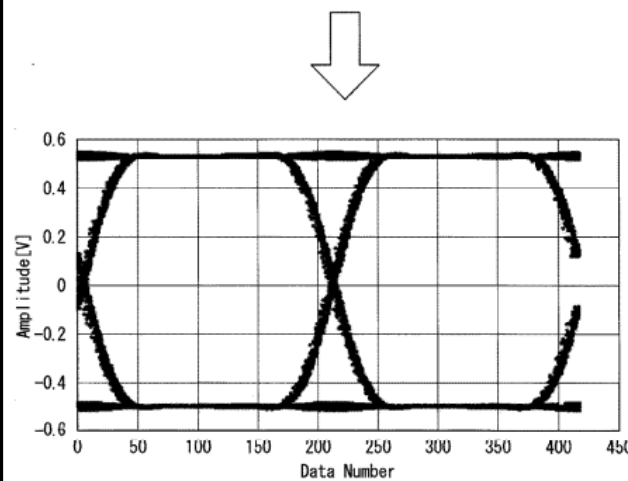
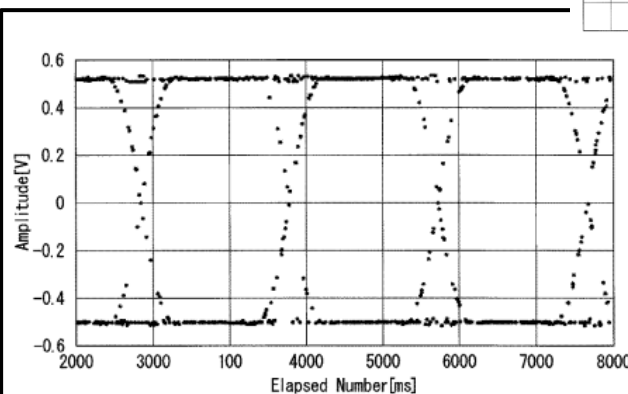
アンダーサンプリングによる時間軸
の拡大波形の取得



時間拡大率: $S_0 = T_s / \delta T = 1 / (\delta T \cdot f_s)$

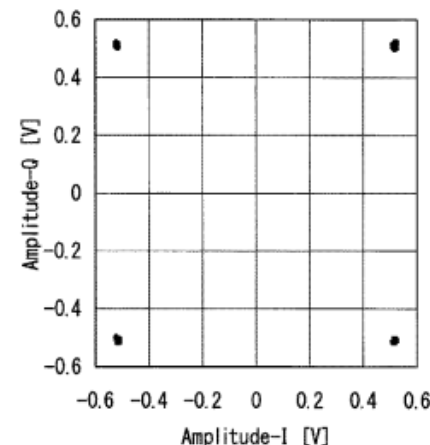
S_0 : 時間拡大率
 T_s : 被測定信号周期時間
 δT : サンプル遅延時間
 f_s : サンプル周波数

QPSK位相変調信号の変調情報を
アイパターン化



同期技術の導入

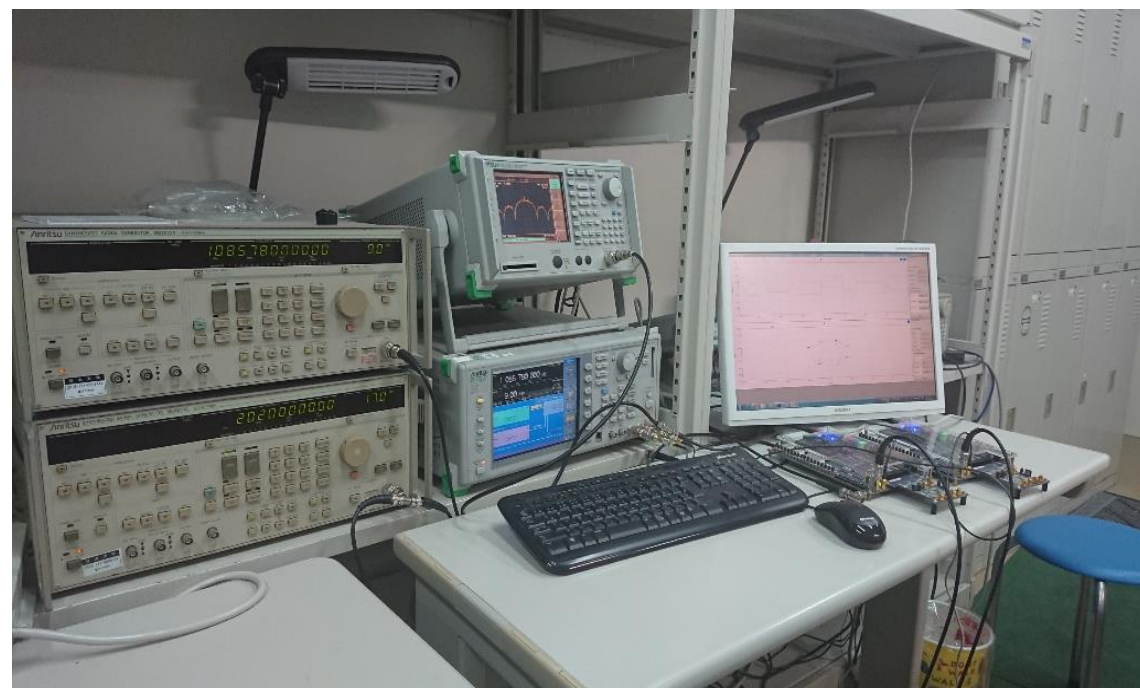
コンスタレーションの計算



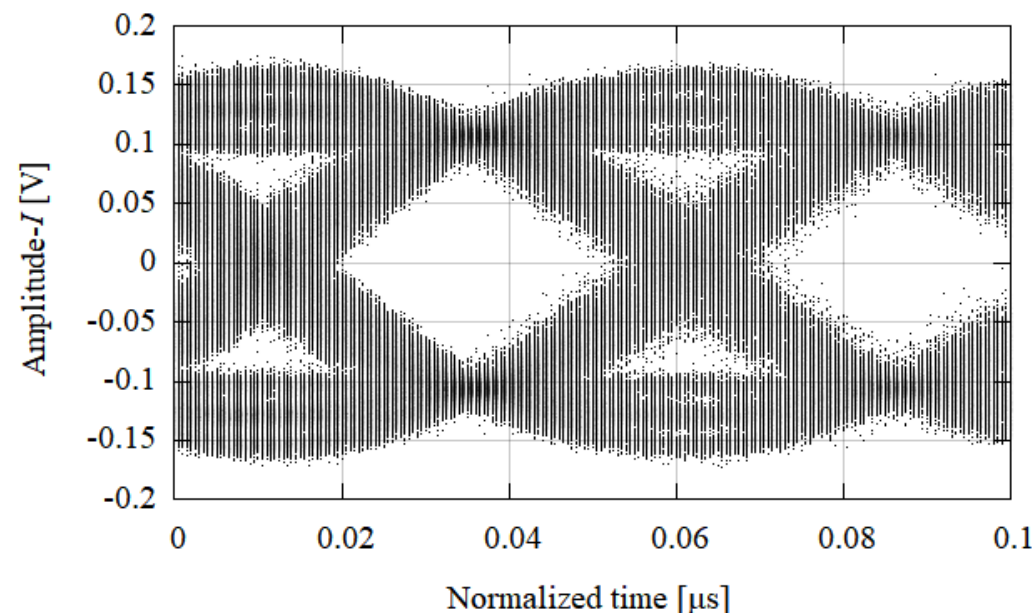
EVMを計算
(BER測定)



信号品質評価に関わる課題解決の手段 ⑤



研究室で保有するアンダーサンプリング技術を用いたQPSK位相変調信号品質評価システム



1GHz QPSK位相変調信号をアイパターン波形に変換した実波形例
(20MbS/s、14bitのADCを使用)



従来技術との比較および新技術の特徴

- ✓ キャリア周波数によらず、位相変調信号品質評価が可能
- ✓ 低周波なADCが採用可能で、加えてソフトウェアを用いた同期技術も採用可能なため、コストパフォーマンスが高い評価システムが構築可能
- ✓ 縦軸の分解能が高く設定できるため、信頼性の高い評価が可能



想定される用途と実用化に向けた課題

想定される用途

- ✓ 5G、6G 高周波無線信号などの信号品質評価

実用化に向けた課題

- ✓ 一般的に認められているリアルタイムサンプリングでの信号品質評価との整合性確認、および見えていない問題点の抽出
- ✓ IEC、3GPP、ITU-R等での測定技術の国際標準化



企業への期待

- ✓ IEC、3GPP、ITU-R等での国際標準化活動の実施
- ✓ 一般的に認められているリアルタイムサンプリングでの信号品質評価技術との整合性確認実験について共同研究等を希望



競争的資金の獲得実績(大谷)

- 総務省 平成23年度電波資源拡大のための研究開発のうち「100GHz超帯域無線信号の高精度測定技術の研究開発」中核研究機関代表 H23年～H26年(企業在職中に受託) (2011年 - 2014年)
- 独立行政法人 科学技術振興機構 地域イノベーション創出総合支援事業 重点地域研究開発推進プログラム 平成21年度版「育成研究」共同研究機関代表 H21年～H22年 (企業在職中に受託) (2009年 - 2010年)
- 独立行政法人 科学技術振興機構 平成16年度革新技术開発研究事業補助金 中核研究機関代表 H16年～H18年 (企業在職中に受託) (2004年 - 2006年)
- 経済産業省 平成14年度地域新規産業創造技術開発費補助金 中核研究機関代表(企業在職中に受託) (2002年 - 2003年)



本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 測定装置及び測定方法
- 特許番号 : 特許第6902259号
- 出願人 : 日本大学
- 発明者 : 大谷 昭仁、今池 健、
菅野 翔太

お問い合わせ先

日本大学産官学連携知財センター

TEL 03-5275-8139

FAX 03-5275-8328

e-mail nubic@nihon-u.ac.jp