

5G NR 携帯電話基地局サービスエリアの電波伝搬状況を評価するエリアテスト™の開発

小野 純 Jun Ono, 吉田 孝 Yoshida Takashi, 平岩英造 Eizo Hiraiwa, 鈴木尚哉 Naoya Suzuki,
関口秀康 Hideyasu sekiguchi

〔要 旨〕 スマートフォン普及に伴うデータ通信量の増大を背景にして、国内の携帯電話システムは 5G 方式に向けた取り組みを加速させている。2018 年度末には総務省が国内大手 4 キャリアに対して、新たに携帯電話向けに 3.7 GHz 帯、4.5 GHz 帯、28 GHz 帯の 3 つの周波数バンドの割り当てが行われ、5G の商用サービスが目前となった。それに伴い、5G に向けた新たなエリア評価に必要な測定機が必要となってくる。アンリツでは、ML8780A/ML8781A エリアテストの 5G 方式に対応した新規ユニット MU878070A (5G NR TDD Sub-6 GHz 測定ユニット)、MU878080A (5G NR TDD mmWave 測定ユニット)を開発した。

1 まえがき

新たな通信方式である第 5 世代移動通信システム(5th Generation)の規格標準化が進み、今後は 4G(4th Generation)/LTE(Long Term Evolution)に代わり 5G New Radio(5G NR)が普及していくと予想される。5G のサービスエリアが拡大していくなかで、エリア設計・エリア品質評価・障害調査等のために、フィールドで直接電波測定を行う機会が増えてくる。その際には、客観的な電波伝搬特性の収集が可能となる測定器が必要である。

また、既に 4G/LTE が普及しているなかで、新たなシステムの運用には時間とコストがかかるため、運用開始においては、4G/LTE と 5G NR を併用して運用する Non-Standalone(NSA)での展開が予想される。アンリツでは、4G 以前の W-CDMA(Wideband Code Division Multiple Access)や LTE に対して、サービスエリア評価のための測定器 ML8780A/81A エリアテストを開発し、携帯電話事業者、基地局設置工事会社、および端末製造会社の業務に貢献してきた。

ML8780A/81A エリアテストは、通信システムに応じた複数の測定ユニットを組み合わせる使用形態の測定器であり、LTE FDD(Frequency Division Duplex)用に MU878030B LTE 測定ユニット、TDD(Time Division Duplex)用に MU878041B TD-LTE 測定ユニットをそれぞれ商品化している。

今回新たなラインナップとして、国内で 5G NR として新たに周波数が割り当てられている 3.7 GHz 帯と 4.5 GHz 帯に対応した MU878070A 5G NR TDD-sub-6 GHz 測定ユニット、28 GHz 帯に対応した MU878080A 5G NR TDD mmWave 測定ユニットの開発を行った。これらの新たな測定ユニットを組み合わせることにより、従来の LTE と 5G NR の両方のシステムを同時に測定でき、サービスエリアの評価に有効な電波伝搬特性を得ることができるようになった。



図 1 ML8780A/81A エリアテスト

2 5G NR のエリア測定

LTE システムではチャネル推定や CQI(Channel Quality Indicator)測定に使用される RS(Reference Signal)を測定対象としており、RS シンボルは 1.4 MHz~20 MHz の帯域幅全体に常時出力されている。それに対して、カバレッジの拡大やセル容量を拡大するためにビームフォーミング技術が採用される 5G では、各ビームに含まれる SS-Block(Synchronization Signal Block)の同期信号 SS(Synchronization Signal)と報知チャネル PBCH(Physical Broadcast Channel)を測定対象としている。

2.1 SS-Block(Synchronization Signal Block)

2.1.1 SS-Block の配置

5G NR のエリア指標として用いられる SS-Block は、SS burst set periodicity の設定パラメータにより、出力周期(5/10/20/40/80/160 ms)が決定される。SS burst set は、1 つ以上の SS burst または SS-Block で構成され、Half frame (0.5 ms) 内で収まるように出力される。周期 20 ms の場合における SS-Block の配置を図 2 に示す。

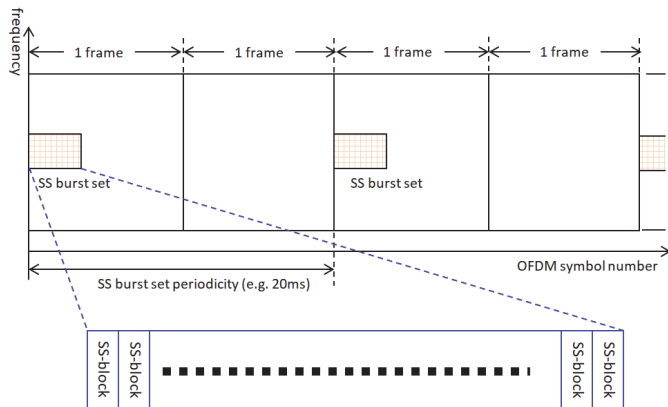


図2 無線フレーム内の SS-Block の配置(e.g, 20 ms)

SS-Block は、SS burst set 単位で SS-Block の番号(SS-Block Index)が割り当てられる。番号は 0 から開始し、SS-Block の最大数を定義する $L_{\max}-1$ の範囲となる。SS burst set 内で送信される SS-Block の数がビームの数となる。

表 1 に SS-Block の最大数を定義する $L_{\max}$ の条件を示す。

表 1 SS-Block の最大数($L_{\max}$)の条件

$L_{\max}$	Conditions
4	FR1 < 3 GHz
8	FR1 > 3 GHz
64	FR2

また、SS-Block は常にキャリア周波数と同じ周波数で配置されるとは限らない。国際的な移動通信システムの標準化団体である 3GPP(The 3rd Generation Partnership Project)の TS38.104 で定義されているように、帯域内を定められた周波数ラスタにおいて自由に配置することが可能となる。つまり、SS-Block の配置をダイナミックに変えることで、状況に応じトラフィックが集中しているリソースエリアからトラフィックが集中していないリソースエリアに SS-Block を移動させることが可能となる。

上記を踏まえ、MU878070A/MU878080A は周波数軸、時間軸での SS-Block 検出機能を有し、5G NR のエリア指標となる SS-Block の測定を実現している。それにより、ユーザはキャリアの詳細な情報を持ち得ていない場合や、5G NR の立ち上げ時期で SS-Block のオフセット周波数のパラメータが定まっていない場合において、SS-Block の周波数変動に対して容易に測定することが可能となる。

2.1.2 SS-Block の構成

SS-Block の構成は、PSS(Primary Synchronization Signal),

SSS(Secondary Synchronization Signal)と PBCH で構成される。SS-Block の構成を図 3 に示す。

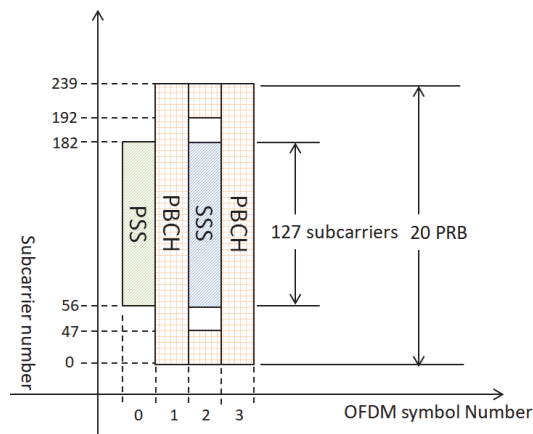


図3 SS-Block 構成

2.2 ビームフォーミング技術

従来の LTE と異なり、5G NR から新たにビームフォーミング技術が適用される。5G の周波数は、従来の周波数よりも高い 28 GHz 帯などのミリ波帯も使用される。基地局では Massive MIMO ビームフォーミングが使用され、特定の機器に電波を集中する仕組みが取られる。また、ビームフォーミング技術が採用されることで、複数のビームを束ねての高速データ転送、各ビームを分散することで多数のユーザへのデータ転送が可能となる。ビームフォーミングはさまざまな状況に対して柔軟に対応することが可能となる。

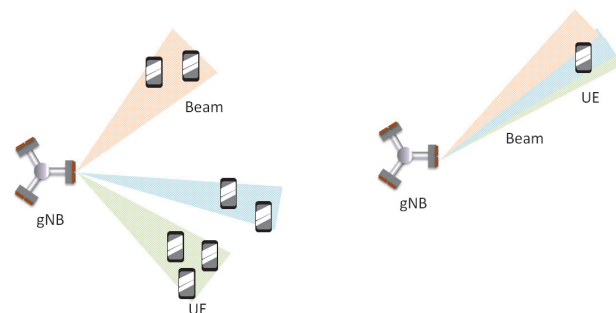


図4 ビームフォーミング

そのため、5G NR のエリア設計や品質設計においては、従来の PCI(Physical Cell ID)だけでなく、ビームフォーミング(Beam Index または SS-Block Index ともいう。以下、SS-Block Index と表現する)ごとに管理する必要がある。MU878070A/MU878080A では、1 度の測定で各 PCI の SS Block Index の結果を出力することが可能である。

2.3 KPI(Key Performance Indicator)

MU878070A/MU878080A で測定する 5G NR の測定項目を以下に示す。SS-RSRP(Synchronization Signal-Reference

Signal Received Power), RSSI(Received Signal Strength Indicator) , SS-RSRQ(Synchronization Signal-Reference Signal Received Quality), および SS-SIR(Synchronization Signal-Signal to Interference Retio)が主要測定項目となり, 5G NR の物理層を評価するための KPI として用いられる。

(1) SS-RSRP(SS-Reference Signal Received Power)

SS-RSRP は 1 リソースエレメント当たりの SSS の受信電力である。SSS は定められた周期で送信されており, トラフィック量に左右されない。これにより, SS-RSRP は基地局からの電波の受信レベルを評価する基本的なパラメータとなり, 基地局の送信電力やアンテナの向きと高さなど, 基地局の固定的な設置条件と, 基地局からの距離や障害物などの測定環境によってほぼ決定する値として用いられる。

(2) SS-SIR(SS-Signal to Interference Ratio)

SSS の受信品質を表す指標の 1 つである。干渉が大きくなるとスループットに影響を与えるため, SS-RSRP だけでなく SIR も同時に評価する必要がある。SIR では SSS と同じ帯域内に存在する干渉電力を分母とする。直接干渉電力を測定することは難しいため, SSS の理想信号のばらつき(分散)を計算して, 干渉電力を求めている。このような方法で計算される干渉電力は, 同じ帯域の隣接セルからの信号に加えて雑音成分も含まれているため, SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)とも言われる。ML8780A/81A エリアテスタでは慣習的に SIR と SINR を特に区別せず SIR と表示しており, LTE の場合も 5G NR の場合においても SIR 測定値には雑音成分が含まれている。

(3) RSSI(Received Signal Strength Indicator)

RSSI は SS-Block が存在する OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)シンボルにおいて, SS-Block 帯域全体の電力を測定した値である。RSSI は, 基地局の設置条件や測定環境だけでなく, 周辺基地局の干渉によっても変化し, 一般に干渉が増えると RSSI が大きくなる。

(4) SS-RSRQ(SS-Reference Signal Received Quality)

SIR と同様に SSS の受信品質を表す指標の 1 つである。SS-RSRP と RSSI の比によって式(1)で計算される。

$$SS-RSRQ = N \times SS-RSRP / RSSI \tag{1}$$

※Nはリソースブロック数を表し, SS-Blockの帯域幅のみを対象としているため, 20 固定としている。

RSSI が干渉で影響を受けるように RSRQ も干渉によって値が変化する。近隣基地局の干渉が増大すれば RSRQ が小さくなる。LTE の場合では, アンテナ 1 つの場合で最大-3 dB, アンテナ 2 つの場合で最大-6 dB であるが, 5G NR の場合においては, 干渉がない場合, 理論上 Sub-Carrier Spacing(SCS)が 30 kHz で-10.16 dB, SCS が 120 kHz で-10.45 dB となる。

LTE と 5G NR の測定項目を比較した表を表 2 に示す。

表 2 LTE/5G NR 測定項目比較

項 目	LTE	5G NR
セルの区別	Physical Cell ID (PCI) PCI = 0-503	Physical Cell ID (PCI) PCI = 0-1007
ビーム管理	—	SS-Block Index または Beam Index FR1: 0-3 (< 3 GHz) FR1: 0-7 (> 3 GHz) FR2: 0-63
測定対象	Reference Signal (RS)	Secondary Synchronization Signal(SSS)
測定対象の受信電力	RSRP [dBm] 測定帯域 15 kHz	SS-RSRP [dBm] FR1: 15 kHz, 30 kHz FR2: 120 kHz, 240 kHz
総受信電力	RSSI, Io [dBm]	RSSI [dBm]
対総受信電力	RSRQ [dB]	SS-RSRQ [dB]
対干渉波	SIR [dB]	SS-SIR [dB]

3 5G NR 測定原理

5G NR のエリア評価は, 従来の LTE と同様に, 近隣基地局の干渉や異なるシステムの干渉の影響を考慮する必要がある。SIR 測定手法においては, 2.3 節(2)で述べたように, SSS を復調した OFDM シンボルから求めることができる。これは従来の LTE に類似した算出式となる。

$$RSRP = I_{ave}^2 + Q_{ave}^2$$
$$= \{(1/M) \sum I_m\}^2 + \{(1/M) \sum Q_m\}^2 \tag{2}$$

$$I_{ot} = (1/M) \cdot \sum \{(I_m - I_{ave})^2 + (Q_m - Q_{ave})^2\} \tag{3}$$

$$SIR = RSRP / I_{ot} \tag{4}$$

(I_{ave}, Q_{ave}): 復調した SSS を平均したシンボル

(I_m, Q_m): 復調した SSS のシンボル

M: SSS のリソースエレメント数

5G NR と LTE では測定対象が異なるため, 次節に示す手法で耐干渉・感度性能の向上を図った。

3.1 耐干渉・受信感度性能の向上

5G NR においては、LTE に比べて高周波・広帯域化により、エリアテスト自身のフロアノイズの影響を大きく受ける。5G NR のビーム単体での SSS 信号のサンプル数は LTE の RS シンボルに比べて少なく、干渉や弱電界において安定した測定結果を出力する機構を取り入れる必要がある。ノイズ抑圧を行うためには、復調した SSS シンボルのベクトル平均サンプル数を増やす必要がでてくる。実際にサンプル数を増やすことで、SIR の効果を確認している。図 5 はサンプル数を 4 回、16 回、32 回に増やしていった場合の結果であり、実際に 5G NR の信号に対して、ノイズを付加した場合の SS-SIR の特性を示している。

ただし、サンプル数を増やす場合において欠点もある。マルチパス、フェージングなどの影響により逆効果となる可能性があるため、エリアテストは、測定環境に応じてサンプル数をダイナミックに変えながら測定結果を算出する手法をとっている。これにより、環境に左右されず最適な測定結果を取得することが可能となる。

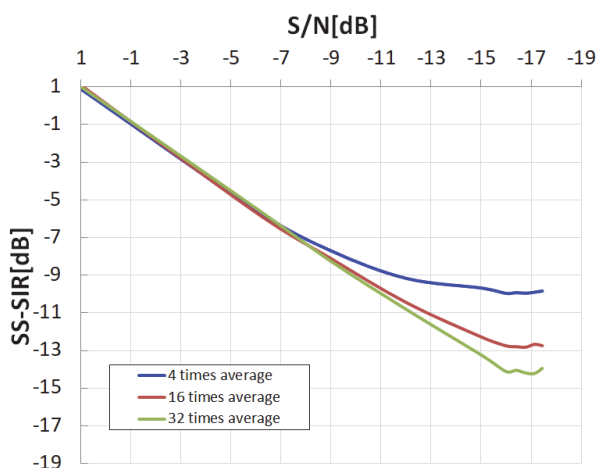


図 5 平均化回数による SIR 特性

4 機能

MU878070A/MU878080A で新たに追加した機能を紹介する。

4.1 SS-Block Auto サーチ機能

2.1 節で述べたように SS-Block は任意の周波数ラスタに配置されているので、NR 信号の中心周波数の情報だけでは SS Block を測定できない。そこで受信可能な SS-Block を検出する SS-Block Auto サーチ機能 (Auto サーチ) を MU878070A/MU878080A に実装した。測定前に SS-Block を配置している周波数が未知である場合や基地局のパラメータを誤設定している場合などに有効な機能となる。下記パラメータを設定して測定開始すると、Auto サーチが実施される。

- Auto サーチの有効／無効 ……図 6(a)
- Auto サーチ対象となる周波数 ……図 6(b)
- Auto サーチ周波数間隔 ……図 6(c)
- Auto サーチ範囲 ……図 7

帯域全体から SS-Block を検出するため、サーチ時間は帯域幅、周波数間隔や出力周期に依存する。あらかじめ SS-Block が帯域のある領域に送信されていることがわかっている場合には、Auto サーチ範囲を指定してサーチする範囲を絞ることでサーチ時間を短縮することができる。また、サーチ開始時に信号のスペクトラム波形から信号の有無を判定して、サーチ範囲を限定することによりサーチ時間を短縮している。

Auto サーチは測定の前処理であり、検出できた SS-Block 周波数をもとに測定状態に移行して、SS-Block を対象とした測定を開始する。Auto サーチで検出した SS-Block の周波数を自動で設定に反映し、次回以降の測定では Auto サーチの前処理をせずに測定を行うことができる。

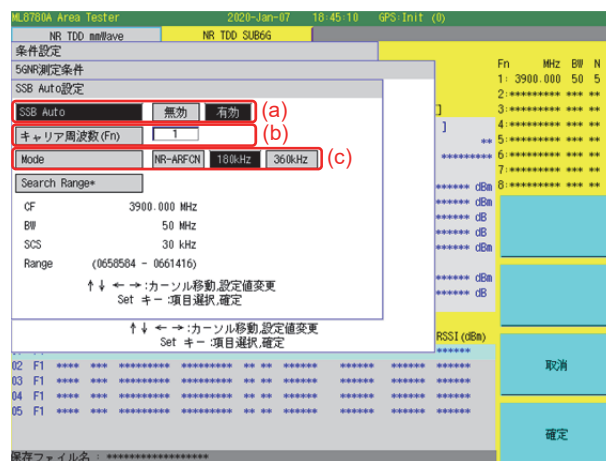


図 6 SS-Block Auto サーチ機能設定画面

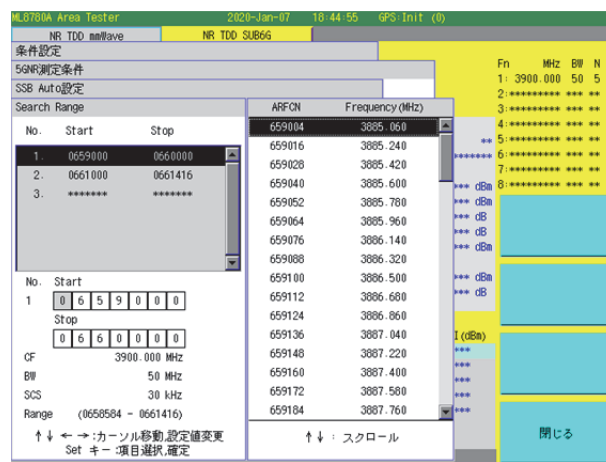


図 7 SS-Block Auto サーチ範囲設定画面

MU878070A/MU878080A に Auto サーチを実装したことにより、ユーザは NR 信号の中心周波数の情報のみで SS-Block の測定が可能となった。

4.2 64 Beam 測定機能

5G NR ではビーム別に電波の向きを変えて送信するビームフォーミングを行っている。MU878080A では PCI 別に最大 64 本のビームを一括で測定して、すべてのビームを測定結果として表示することができる。ビームフォーミングによって 64 本のビームの測定結果は各ビームで大きく変化するため、一度にすべてのビームを表示することで各ビームの差異を簡単に比較することができる。図 8 に 5G NR エリアテスタ 64Beam 測定画面を示す。

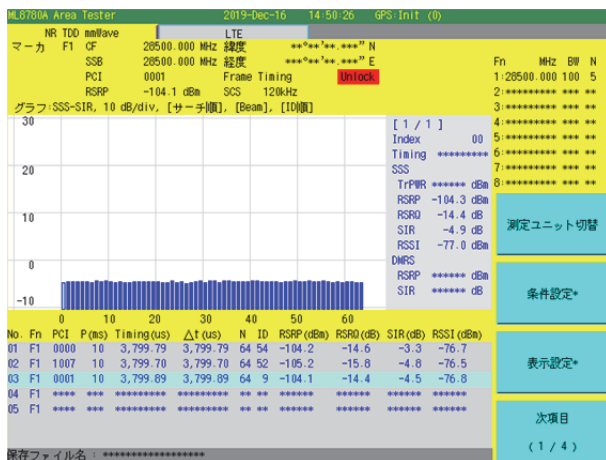


図 8 5G NR エリアテスタ 64Beam 測定画面

4.3 Map Tool

エリアテスタでは測定時に GPS(Global Positioning System) から通知される位置情報を測定結果と一緒に出力できる。その情報を元に、ユーザは移動中に測定した測定結果の軌跡を地図上に描画することができる。しかし 5G NR では GPS が届かない屋内で運用される場合があり、測定中に GPS から位置情報を得られない。測定中の位置情報がないため、ユーザは屋内での測定結果を地図上に描画できない。

そのため、事前に読み込んだ地図画像の上に、測定結果ファイルの内容をプロットする Map Tool を新たに作成した。Map Tool に読み込んだ地図に測定の始点と終点の座標位置を設定することで、測定結果を地図上に表示することができる。図 9 に測定結果ファイル指定時の Map Tool 画面を示す。

Map Tool を使うことで、ユーザは屋内で測定した測定結果の軌跡を地図上に描画できるようになった。

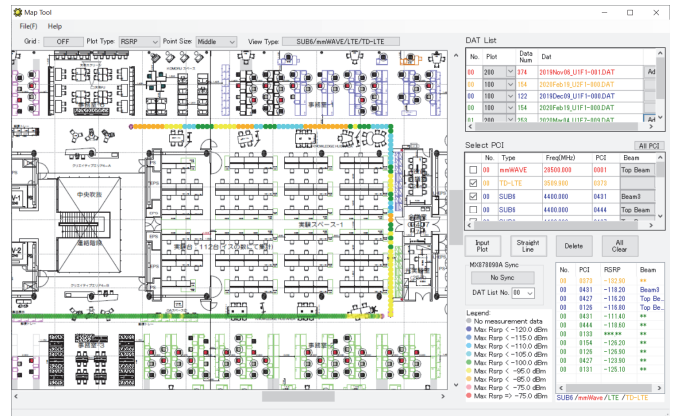


図 9 測定結果ファイル指定時の Map Tool 画面

5 むすび

本稿では、MU878070A 5G NR TDD-sub-6 GHz 測定ユニット、および MU878080A 5G NR TDD mmWave 測定ユニットの特徴について解説した。

アンリツは、長年にわたり携帯電話事業者や工事担当会社の協力の下、携帯電話基地局用のエリア評価用測定器を開発してきた。今後も、より多くのユーザと連携をとり、実際に測定する現場の状況をよく理解して、新たな機能追加や操作性の向上を図ることで市場に適応した測定ソリューションを提供し、第 5 世代移動通信の発展に貢献していく。

参考文献

- 1) 3GPP TS 38.104 V15.3.0 (2018-09)
- 2) 3GPP TS 38.211 V15.3.0 (2018-09)
- 3) 3GPP TS 38.212 V15.3.0 (2018-09)
- 4) 3GPP TS 38.213 V15.3.0 (2018-09)
- 5) 3GPP TS 38.214 V15.3.0 (2018-09)
- 6) 3GPP TS 38.215 V15.3.0 (2018-09)
- 7) 浜尾昇治, 吉田祐二: “ML8780A/81A を用いた W-CDMA/LTE エリア評価”, アンリツテクニカル 89 号(2014.03)
- 8) 稲垣浩道, 浜尾昇治, 佐藤武彦, 橋本正勝, 吉田孝: “ML8720A W-CDMA エリアテスタの開発”, アンリツテクニカル 80 号(2002.01)

執筆者



小野 純
計測事業グループ計測事業本部
IoT テストソリューション事業部
商品開発部



吉田 孝
技術本部
先進技術開発センター
データ分析チーム



平岩 英造
アンリツエンジニアリング株式会社
第一事業部
アプリケーション技術部



鈴木 尚哉
アンリツエンジニアリング株式会社
第一事業部
アプリケーション技術部



関口 秀康
アンリツエンジニアリング株式会社
共通基盤開発部

公知