

統計的手法による微弱雑音測定システムの開発

氏原秀樹、岳藤一宏、関戸衛、市川隆一、小山泰弘(情報通信研究機構)

1. はじめに

UWBやZigBee、Bluetoothなど微弱で広帯域な無線機器からの不要輻射を測定するシステムを開発した。これらの無線機器からの放射は時間軸上ではインパルス的であり、不要輻射も同様な性質を持つと考えられる。また、PLCモデムやLED照明なども広帯域の不要輻射を出し、それらの電力線もアンテナになる。ミリ波レーダなども、電波望遠鏡などの高感度な受信システムには影響を与える。よって、VLBIで開発した機器と技術を利用して-90dB/MHzの微弱な放射電力を測定することを目標とし、システムを開発を行った。本システムはディックスイッチを校正に利用しつつ長時間の積分を行う。目標感度は、UWBでの規制値を根拠とした(表1)。測定可能な周波数帯域は0.8GHzから27GHz程度であり、3つの受信システムで分担する(図1)。これらは、それぞれ低周波数部(2008年製作)、中周波数部(2009年製作)、高周波数部(2010年製作)と呼ばれ、全体でSIRIUS(System to Investigate Radio Intensity Using Statistics)[1]と称される。

Frequency(MHz)	Averaged Power	Peak Power
<1600	<-90dBm/MHz	<-84dBm/MHz
1600-2700	<-85dBm/MHz	<-79dBm/MHz
>2700	<-70dBm/MHz	<-64dBm/MHz
10600-10700	<-85dBm/MHz	<-79dBm/MHz
11700-12750		

表1. UWB機器の輻射の規制値。

	Low-Band	Mid-Band	High-Band
RF Frequency	0.8GHz~3GHz	3GHz~18GHz	>3GHz~27GHz(estimated by Meter)
IF Frequency	0.1MHz~32MHz for K5/VSSP32		0.1MHz~32MHz for K5/VSSP32 (512MHz for ADS3000+)
IF Output Ports	I/Q for image rejection on PC.		
IF Level Flatness	<1.0dB over 0.1MHz to 32MHz		
IF Output Level	-500mV~-500mV, with Attenuator Range: 0dB to 66dB, 145 steps		
Antenna(Port1)	Directivity Gain:4dBi @ 5m port		
LNA Gain(Total)	>27 dB	>27 dB	>27 dB
NF(LNA)	<1.0dB	<2.2dB	<5dB
NF(Swch,Coax Switch)	<0.6dB	<3.7dB	<10dB
Thermometer	0.1K resolution, acquired via RS232C		
LO	Internal Controlled via RS232C	External 5G	
Calibrators(Port2,3)	Port2: Internal Dummy Loads with thermometer Port3: External Noise Diode, Cold Load, or Antenna faced to Absorber		

表2. 各周波数部の仕様

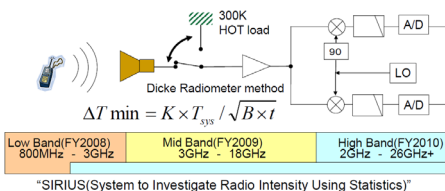


図1 SIRIUS systemの概要

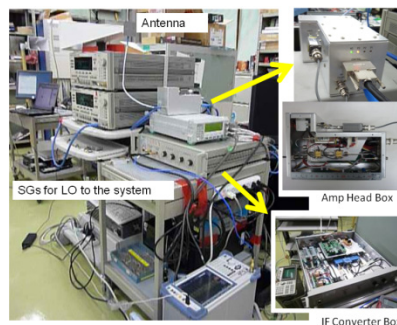
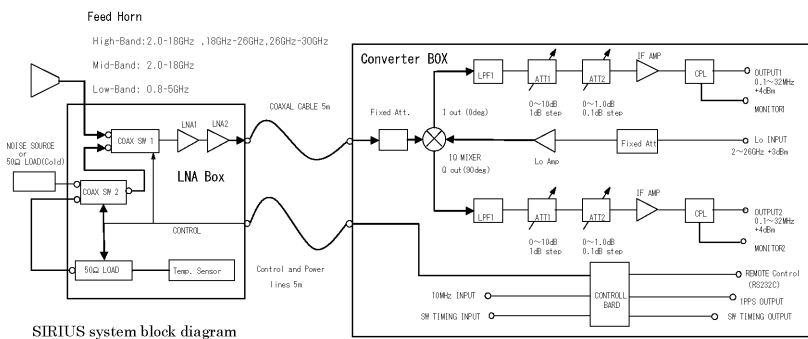


図4 鹿嶋センターで試験中の高周波数部

図2 システム・ブロック図

2. SIRIUS systemの概要

SIRIUSの概要を図1に示す。ディック・スイッチによるラジオメータであり、IFはI/Q両成分を出力する。これをVSSP32,ADS300+などの広帯域サンプラでPCに取り込み、積分を行う。

最終年度に開発された高周波数部はNFが最も高い反面、測定周波数範囲は2GHzから27GHz程度と最も広く、IF周波数は500MHzまで拡張された。機器仕様を表2に、各周波数帯の受信部のブロック図を図2に示す。受信用アンテナは交換可能であり、広帯域なダブルリジッドホーンが主に利用される。測定周波数帯や偏波、所要ゲインに応じて最適なアンテナを選べる。LNAはアンプ箱内に2段カスケード接続され、同軸スイッチで2つの校正電力源とアンテナの計3入力を切り替えられる。校正電力源はノイズダイオード、ダミーロードが利用可能であり、ノイズダイオードの電源が内蔵されている。ミキサはIF箱内に置かれ、I/Q出力と同軸スイッチの制御基盤や状態出力端子、総括制御端子、サンプラ駆動用の1PPS出力端子を持つ。制御方法が同じなので、各周波数帯用のアンプ箱とIF箱は相互に交換可能である。

K5/VSSP32やADS3000+などの広帯域サンプラを利用する。VSSP32についてはドライバが改良され、1つのPCIに2個または3個が接続可能となり、64bit Linuxにも対応した。

測定時の構成例を図3に示す。中周波数部でUWBのパルス上の通信波を検出し、低周波数部、高周波数部は上下の帯域外輻射を検出する。受信帯域が重なる2.0-3.0GHzにおいてはアレイアンテナとしても動作可能であるので、アンテナの指向性を改善できる。

以前はソフトウェアタイマを利用して各システムと同軸スイッチは1PPSに同期して切り替わるように改良され、タイミング精度が大幅に向上した。3システムのうち任意の1つがマスタ、残りの2つがスレイブとなる。必要に応じてアンプ箱内の温度も記録される。アンプ箱とIF箱間のケーブルは3-5m程度である。

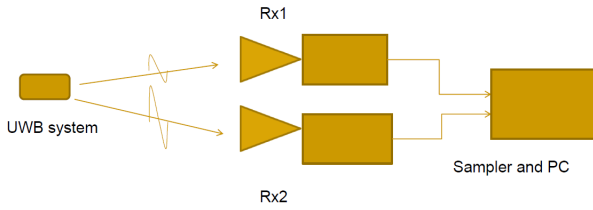


図.3 測定時の構成図

3. 実験結果

3.1 システム雑音と揺らぎ

LNAおよびシステム全体の雑音が感度を制限し、長時間積分時には、その揺らぎが問題になる。図5に低周波数部の雑音温度の測定値を示す。2.5GHzでは100Kであった。中周波数部は5GHzで408Kであり、十分に低い。表3に高周波数部のアンプ箱の雑音温度を示す。NFが上昇したので低・中周波数部よりも高いが、アンテナゲインが向上するのでS/Nの劣化は軽減される。

-90dBm/MHzの検出感度をアンテナ入力温度に換算すると、例えば10dBiのダブルリジッドホーンで7m先のUWB機器を3GHzで測定した場合、0.94Kの入力温度の上昇となる。低周波数部の揺らぎの評価を図5に示すが、5秒の実積分時間で0.1Kの入力温度変化が検出可能である。高周波数部では、図6に示すように14GHzから26GHzでは、5秒のデータ積分時間で1Kの変化が検出可能である。校正電力源の積分時間を含めれば全体で20秒の積分時間を要する。22dBiのアンテナを使い、測定距離を3mとしたときの-90dBm/MHzの輻射はアンテナ入力温度で2.2K上昇となり、これを95%の信頼性で検出できる。

3.2 電波暗室でのUWB機器の受信試験

UWB USB-HUBを用いた受信実験を行った。UWB low bandで USB memoryからの動画をPCに送信している。図7に、そのときのスペクトラムを示す。ただし、表示にはスペアナを利用した。

$$T_{rx} = \frac{T_{hot} - Y_3 T_{cold}}{Y_3 - 1}$$

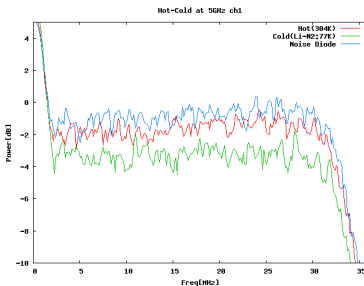
$$T_{nd} = Y_1 T_{hot} + (Y_1 - 1) T_{rx}$$

Y-Factor method

$$Y_1 = \frac{P_{nd}}{P_{hot}} = \frac{T_{rx} + T_{nd}}{T_{rx} + T_{hot}}$$

$$Y_2 = \frac{P_{nd}}{P_{cold}} = \frac{T_{rx} + T_{nd}}{T_{rx} + T_{cold}}$$

$$Y_3 = \frac{P_{hot}}{P_{cold}} = \frac{T_{rx} + T_{hot}}{T_{rx} + T_{cold}}$$



	No filtered	HPF(Cut-offed at 8GHz) via Waveguide	at 22GHz BPF
Port1 Power[dB]	0.95	-4.57	-11.06
Port2 Power[dB]	6.8	1.88	-5.26
Port3 Power[dB]	1.82	-3.16	-9.59
Port2 ND input temperature[K]	928	504	477
AHB Noise Temperature[K]	2940	2060	1630

表 3 アンプ雑音の測定値

port1:50Ω load(77K),
port2:Noise diode(-10dBアッテネータ挿入),
port3:50Ω load (300K)

図.4 Y-Factor法による雑音測定とIFスペクトラム

青線: ND, 赤線: 常温ダミーロード, 緑:77Kの低温ダミーロード

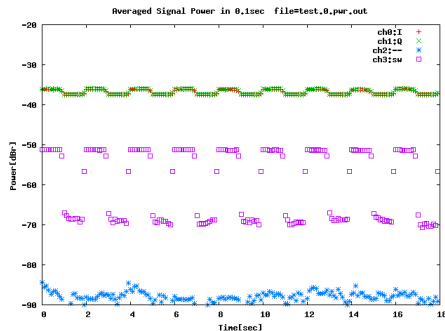


図.5 同軸スイッチによるND切替試験(低周波数部)
 上図: 同軸スイッチ状態端子の出力
 下図: 受信したRF電力(左)と測定された揺らぎ(右)

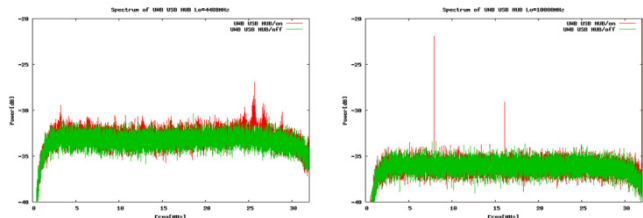
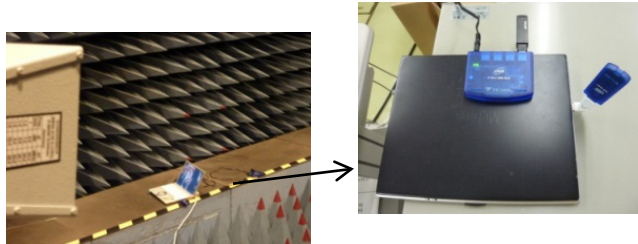
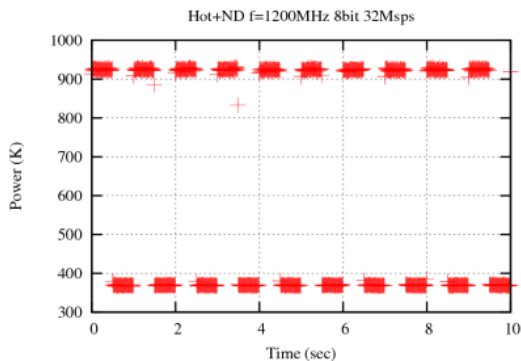


図 7 NICT鹿嶋電波暗室内での UWB USB-HUBのスペクトラム (IF帯域は32MHz)

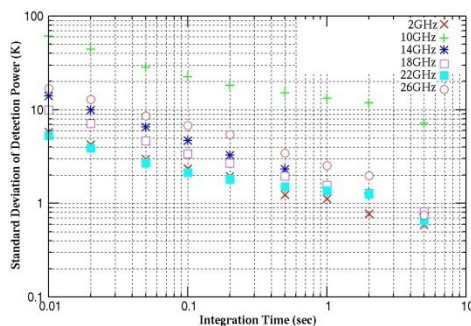
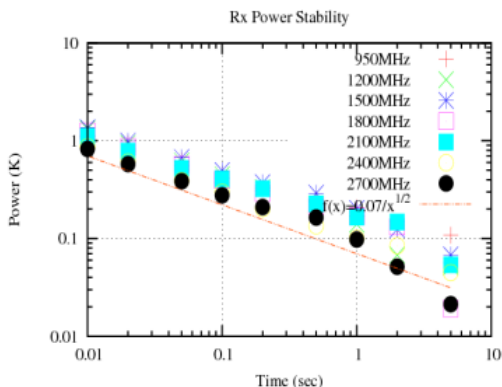


図. 6. 高周波数部のシステム雑音温度の揺らぎ

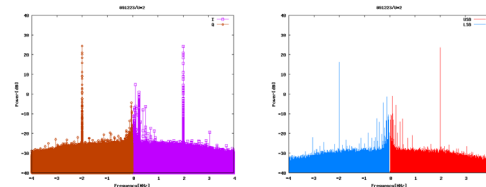


図 8 2352MHzのCWでのイメージ抑圧試験。
 LOIは2350MHz.

4. イメージ抑圧試験

イメージ抑圧はIFからのI/Q出力をPC上のソフトウェアで処理して行う。サンプリングは8bit量子化とした。-8dBのイメージ抑圧比が得られているが、チャンネル間の位相、遅延、振幅差の補正はまだ行っていない(図8)。

5. まとめと今後

微弱で広帯域な無線システムからの不要輻射を測定するシステムを開発した。ソフトウェア上で長時間積分とイメージ抑圧を行うので柔軟な処理が出来る。UWBのチャンネルあたりの周波数幅は50MHz程度だが、既存のスペアナでの測定時のRWBは1MHzであり、尖塔値電力では換算を要していたが、これが不要とできる。高周波数部では最大500MHz程度のIF幅があるので、対応したサンプリングを利用すれば測定の効率化が図れる。NICT小金井の電波暗室内での動作確認試験を2011/3/14-3/31で行った。計画停電と余震のため、ソフトウェアの操作性はまだ不十分であるが、ハードウェアの機能は確認できた。

(謝辞)

本研究は総務省の委託研究「統計的手法による放射電力測定技術の研究開発」に基づいて実施しているものです。サポートいただいている関係者の皆様に感謝します。

(参考文献)

”DEVELOPMENT OF WEAK RADIATION POWER MEASUREMENT TECHNIQUE”, AP-RASC’10,
 Ujihara,H., Takefuji,K., Sekido,M., Ichikawa,R., Koyama,Y.
 National Institute of Information and Communications Technology, Japan

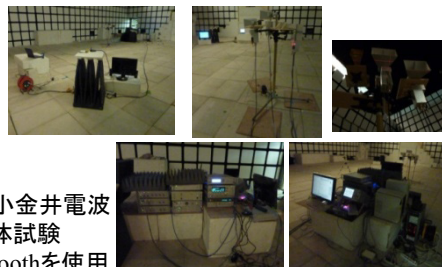


図.9 NICT小金井電波暗室での全体試験
 UWBとBluetoothを使用