

17a-D10-10

乱数検定による位相揺らぎの乱雑度評価 II

Characterizing Phase Fluctuations by Random Number Test (II)

日立中研 ○戸丸 辰也

Hitachi, Central Research Laboratory, ○Tatsuya Tomaru

E-mail: tatsuya.tomaru.yq@hitachi.com

はじめに：位相揺らぎを利用した安全な光通信法では[1,2]、位相揺らぎが十分に乱雑で予測できないことが前提である。実運用では信号重畳法として DPSK (Differential Phase-Shift Keying)が適しており、揺らぎ源として LD の位相揺らぎを想定している。位相揺らぎの乱雑度は周波数軸上でも[3]、時間軸上でも十分との結果を得ているが[4]、時間軸上での評価は帯域及びサンプリング周波数が 1 GHz であったため、例えば 2.5 Gbps の光伝送系に対して十分であるかどうかは未確認であった。そこで本発表では帯域及びサンプリング周波数を 2.5 GHz に拡大した場合を報告する。

実験：LD 光を 400 ps の非対称干渉計(2.5 Gbps 用 DPSK demodulator)に通すことにより位相揺らぎを強度揺らぎに変換し、平衡型検出器（帯域 2.5 GHz or 14.4 GHz）で受光後、デジタルオシロスコープ（帯域 16 GHz）により 2.5 GSps、分解能 8 ビットでサンプリングして、自己相関を調べると共に 2 値乱数化して乱数評価用の NIST SP800-22 で評価した。2 値乱数化では、位相揺らぎの情報量（揺らぎのエントロピ $I = -\sum_i p_i \log_2 p_i \cong 4.5 \text{ bit}$ ）に基づき 8 ビットのデータを 4 ビットにした。解析ではアンプの低周波ノイズを除去するために隣り合うデータ間で差分を取った。

結果：SP800-22 では 15 種類 188 項目に関して単位乱数 (10^6 個) ごとの乱雑度（種類ごとに定義式あり）を算出し、その乱雑度（1000 or 2000 個）の統計分布を一様性と裾部の比率の観点から評価する。SP800-22 の Default の判定基準を 188 項目全体で見ると、一様性検定に対して有意水準 1.9%、比率検定に対して有意水準 40%の検定になっている。その基準における結果を表 1 に示す。

議論・結論：“pass”しなかった項目が僅かにあるが、有意水準を考慮すれば $I_d = 12 \text{ mA}$ の場合は合格とみなせる。 $I_d = 70 \text{ mA}$ の場合は合格が境界線上になるが、それは位相揺らぎが小さくアンプのノイズの影響が出ているためと考えられる。

謝辞：本研究の一部は文部科学省 イノベーションシステム整備事業の支援により遂行された。

	I_d (mA)	BW (GHz)	Differential data		
			1000	1000	2000
cw	12	2.5	Pass	Pass	Pass
	70	2.5	Pass	Pass	Proportion 1 (FFT 1961/2000)
	70	14.4	Uniformity 1 (NO 0.000082)	Pass	Pass
Pulse	12	2.5	Proportion 1 (OT 979/1000)	Pass	Pass
	12	2.5	Pass	Pass	Pass
	70	2.5	Pass	Proportion 2 (NO 978/1000) (RE 620/635)	Pass
	70	2.5	Uniformity 1 (FFT 0.000086)	Pass	Pass

Table I. Test results in the default condition of SP800-22, where all false cases are concretely described. “OT” etc. indicate the kind of tests. Criteria of “pass” in each test are ≥ 0.0001 in uniformity test and $\geq 980/1000$ and $1966/2000$ in proportion test. Significance level is 1.9% for uniformity test and 40% for proportion test as a whole.

[1] T. Tomaru, JJAP **49**, 074401 (2010).

[2] 戸丸, 2012 年秋季応物学会 13a-B1-5.

[3] T. Tomaru, JOSAB **28**, 1502 (2011).

[4] 戸丸, 2013 年秋季応物学会 16p-A14-8.