



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Photomixingにおける集束ビームの指向性
Author(s)	小柳, 幸次郎; Koyanagi, Kojiro; 吉田, 吉憲 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 56, 59-65
Issue Date	1970-03-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40991
Type	departmental bulletin paper
File Information	56_59-66.pdf



Photomixing における集束ビームの指向性*

小柳 幸次郎** 吉田 吉 憲**

桜庭 一 郎**

(昭和44年11月28日受理)

Measurement of Directivity Factors in Photomixing with Focused Beams

Kojiro KOYANAGI Yoshinori YOSHIDA

Ichiro SAKURABA

Department of Electronic Engineering, Faculty of Engineering,
Hokkaido University, Sapporo, Japan

(Received November 28, 1969)

Abstract

This paper deals with measurements of directivity factors in photomixing with focused beams.

An optical heterodyne with an effective aperture A_R for signals arriving within the field of view of the solid angle Ω_R is limited by the constraint $A_R \Omega_R \simeq \lambda^2$. A comparison of calculated and experimental values was made with circular detectors of M 7324 photomultipliers in optical homodyne receivers. A good experimental comparison was obtained.

目 次

Abstract	59
1. 緒 言	59
2. 実 験 結 果	59
3. 考 察	61
4. 結 論	64
参 考 文 献	64

1. 緒 言

Photomixing において信号光ビームと局発光ビームとの parallelism が厳しい条件の一つであることが Stroke¹⁾ や Corcoran²⁾ および Siegman³⁾ によって論じられ、検波面の形の影響や球面波の方向係数も著者らによって求められた^{4),5)}。さらにガウス分布平面波の方向特性も DeLange⁶⁾ や Sakuraba⁷⁾ によって解析され、一つの応用例として optical heterodyne ultrasonic image converter における指向性について考察されている⁸⁾。さらに非集束平面波の photomixing における方向特性に関する多くの実験結果を得たが^{9),10)} 今回は信号光ビームを集束したアンテナ特性を測定したので報告する¹¹⁾。

2. 実 験 結 果

集束ビームを用いた場合の指向性を調べる為に、Mach-Zehnder 干渉計を用い、非集束光ビー

* 本論文は昭和44年10月9日電気四学会北海道支部大会で講演した報告の詳細である

** 電子工学科 電子管工学講座

ムの測定と全く同様な実験を行った⁹⁾。ヘリウム・ネオンレーザよりのレーザ光は、スプリッタ S_1 により局発光ビームと信号光ビームに分けられる。信号光ビームは鏡 M_1 により反射された後チョッパにより変調され、スプリッタ S_2 に入る。一方局発光ビームは鏡 M_2 により反射されスプリッタ S_2 に入る。局発光ビームと信号光ビームはスプリッタ S_2 を経て検波器に入る。この出力波形をシンクロスコープに描かせ、その波形を観測する。信号光ビームのみ絞って用いる実験では、レンズはチョッパとスプリッタ S_2 の間に入れ、両ビームを絞る実験では、スプリッタ S_2 とレーザとの間にレンズを入れて方向特性を調べた。

レーザ光の波長は 6328 \AA 、検波素子は光電子増倍管 M 7324 を用いた。両ビームを絞った場合の実験に用いたレンズの焦点距離は 102.5 cm 、信号光ビームのみを絞る実験では焦点距離が 102.5 cm と 59.1 cm のレンズを用いた。両光ビームの角度差の測定は、鏡により反射させ、それをスケール上で測定し、その値より計算で求めた。

信号光ビームのみを集束した実験において、焦点距離 $f=59.1 \text{ cm}$ のレンズを用いた場合の結

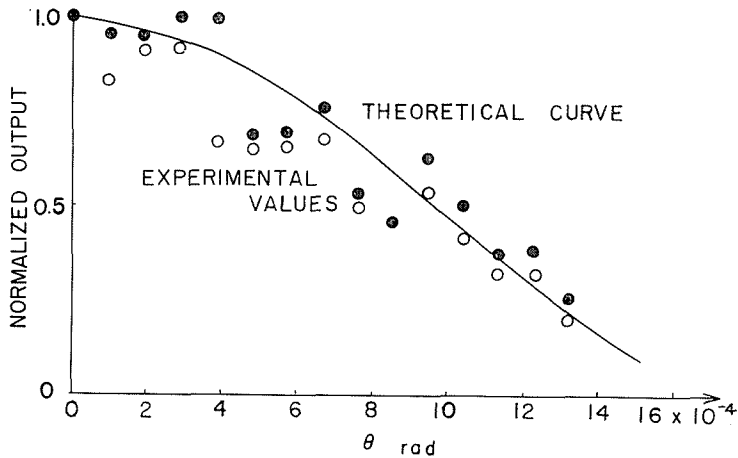


Fig. 1 Detected normalized output for the focused signal beam vs. angular mismatch in the case where the focal length of the focusing lens is 59.1 cm .

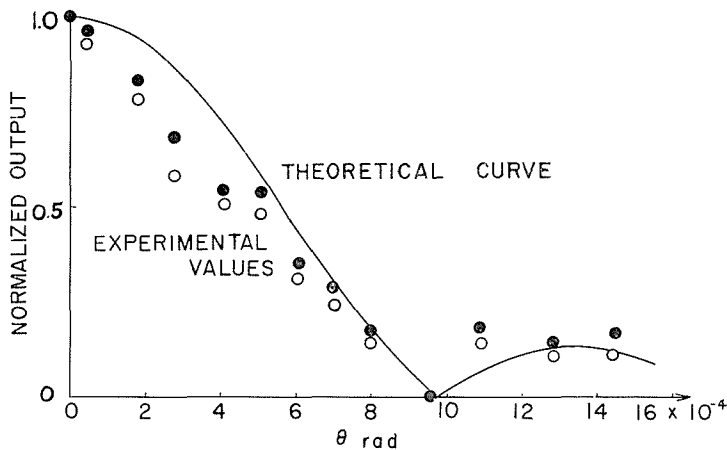


Fig. 2 Detected normalized output for the focused signal beam vs. angular mismatch in the case in which the focal length of the focusing lens is 102.5 cm .

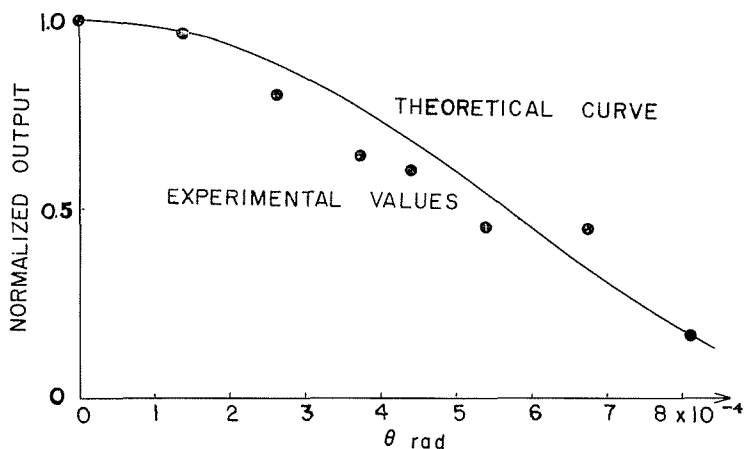


Fig. 3 Detected normalized output for multiple focused beams vs. angular mismatch in the case where the focal length of the focusing lens is 102.5 cm.

果を Fig. 1 に, $f=102.5$ cm のレンズを用いた場合を Fig. 2 に示した。つぎに局発光ビームと信号光ビームの両方を, 単一レンズで集束した結果を Fig. 3 に与えた。

3. 考 察

Siegman³⁾ は波動光学の立場よりオプティカルヘテロダイン検波とアンテナ理論との対応を論じたが, 実測値の説明に必要な為, ここでは両波面の考察によって検波のアンテナ特性を導いておこう。

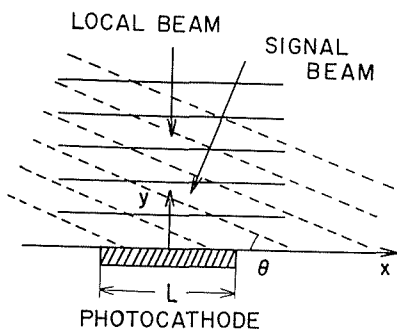


Fig. 4 Representation of detection process with unfocused light.

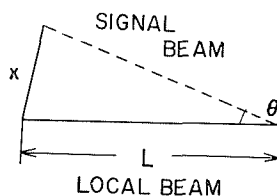


Fig. 5 The relationships of wavefronts in the case of unfocused light beams.

いま Fig. 4 に示した検波面を考える。簡単な為には局発光ビームは光電面に垂直に入射し, 信号光ビームは θ の角度で光電面を照射しており, 両光はともに平面波とする。従って局発光ビームと信号光ビームとの波面の関係は Fig. 5 となり次式が成立つ。

$$x = L\theta \quad (1)$$

ここで L は光電面の幅である。 θ が零の場合つまり局発光ビームの波面と信号光ビームの波面が平行になった時, 差周波数成分の出力電流は最大となる。 θ を零より次第に大きくすると波面のマッチングが悪くなり, 差周波数成分の光電子流は次第に減少し, $x=\lambda$ となる角度 θ_0 で光電子流は零となる。故に式(1)は

$$\lambda = L\theta_0 \tag{2}$$

となり少し変形すると

$$\pi \left(\frac{L}{2}\right)^2 \theta_0^2 \simeq \lambda^2 \tag{3}$$

となる。 $\pi(L/2)^2$ は受光面が円形とした場合の面積であり、 θ_0^2 は円形受光面のはる立体角と考えられる。従って $\pi(L/2)^2$ は受光面の実効受信開口面積 A_R に対応し、 θ_0^2 は立体角 Ω_R で示すと、Siegman の示した結果

$$A_R \Omega_R \simeq \lambda^2 \tag{4}$$

が容易に得られる。

つぎに信号光ビームのみを絞った場合、局発光ビームが光電面を照射している上に、信号光ビームを回折限界のスポットに集束して重畳し photomixing を行わせていることになる。従って検波面の付近では Fig. 6 のようになり、photomixing の面積は非集束の場合に比べて小さくなる。さらに局発光と信号光との波面の関係は Fig. 7 で示される。故に局発光ビームに対して信

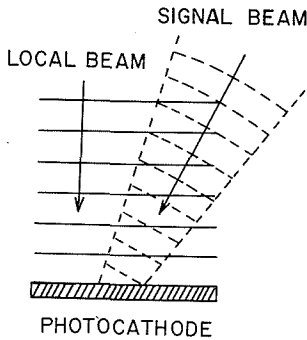


Fig. 6 Representation of photomixing with the unfocused local beam and the focused signal beam.

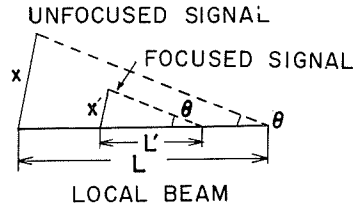


Fig. 7 The relationships of wavefronts in the case of the unfocused local beam and the focused signal beam.

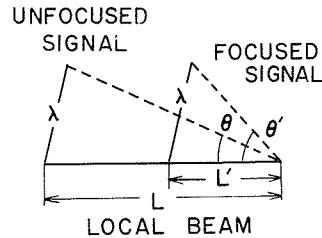


Fig. 8 The normalized relationships of wavefronts in the case of the unfocused local beam and the focused signal beam.

号光ビームが θ の角度で入射した場合、信号光ビームをレンズで絞ったほうが、絞らなかった時に比べ x が小となる。差周波数光電子流が最初に零になるのは、 $x = \lambda$ であるからレンズで信号光ビームを絞らなかった場合に比べて、絞った場合には同じ θ に対して $x = x'$ でまだ λ よりも小さい値を持っている。つまり λ になるまでまだ角度に余裕を残していることになる。この事は指向性が緩和された事を意味する。従って Fig. 8 で明らかなように信号光ビームを絞ると、指向性が θ より θ' に緩和されたことになる。いまビームスポットが円形とすれば、 $L\theta = \lambda$ と $L'\theta' = \lambda$ より $A_R \Omega_R \simeq \lambda^2$ および $A'_R \Omega'_R \simeq \lambda^2$ となる。ここで $A_R = \pi(L/2)^2$ 、 $\Omega_R = \theta^2$ 、 $A'_R = \pi(L'/2)^2$ および $\Omega'_R = \theta'^2$ である。明らかに実効受信開口面積は $A_R > A'_R$ であるから $\Omega'_R > \Omega_R$ となり、集束した場合の立体角は、非集束の場合の A_R/A'_R となる。

これらのことは方向係数¹⁾より考えても説明し得る。いま局発光ビームが光電面を照射し、光

電面を焦点面とする円形開口をもったレンズで、信号光ビームが集束されているものとする。信号光のレンズ開口面での半径 ρ_0 と光電面上でのスポットつまり Airy disc の半径 r_0 との間には、よく知られているように

$$r_0 = 0.61 \frac{f\lambda}{\rho_0} \quad (5)$$

の関係がある¹¹⁾。ここで f はレンズの焦点距離とする。故に光電面上の photomixing はこのスポット内だけと考えるとよいから、その方向係数は

$$D(\omega, r_0) = \frac{2J_1(\omega r_0)}{\omega r_0}, \quad (6)$$

$$\omega = (k_0 \sin \theta_0 \cos \phi_0 - k_1 \sin \theta_1 \cos \phi_1)^2 + (k_0 \sin \theta_0 \sin \phi_0 - k_1 \sin \theta_1 \sin \phi_1)^2 \quad (7)$$

で与えられる。信号光ビームを絞らないとすれば、光電面上で photomixing の起る面積は、ビームの広がりを無視すれば半径 ρ_0 の円になるから、その方向係数は

$$D(\omega, \rho_0) = \frac{2J_1(\omega \rho_0)}{\omega \rho_0} \quad (8)$$

である。 $2J_1(x)/x$ が最初に零になるのは $x = 1.22\pi$ であるから、集束された場合零になる ω は

$$\omega \Big|_{\text{focused}} = \frac{1.22\pi}{r_0}, \quad (9)$$

非集束の場合には

$$\omega \Big|_{\text{unfocused}} = \frac{1.22\pi}{\rho_0} \quad (10)$$

さらに局発光ビームが光電面に直角に入射しているとすれば、 $\omega = k_1 \sin \theta_1$ となり、式(9)と(10)は

$$\sin \theta_1 \Big|_{\text{focused}} = \frac{1.22\pi}{k_1 r_0} \quad (11)$$

$$\sin \theta_1 \Big|_{\text{unfocused}} = \frac{1.22\pi}{k_1 \rho_0} \quad (12)$$

一般に θ_1 は非常に小さいから

$$\theta_1 \Big|_{\text{focused}} = \frac{\rho_0}{r_0} (\theta_1 \Big|_{\text{unfocused}}) \quad (13)$$

を得る。 $r_0 < \rho_0$ であるから信号光ビームを絞った時の方が、 θ_1 が大きくなることを知る。

結局レンズで信号光ビームを絞ることは、実効開口面積 A_R が小さくなり、その結果 Ω_R が大きくなり指向性が緩和される。その指向性のパターンは Airy disc によってきまり、レンズでビームを絞らない場合に、Airy disc の半径をもった信号光が入射している時の指向性パターンと同じになる。つまり受光面を小さくした非集束光の受信に等価である。しかし単に受光面を小さくすることは、信号光の一部のみ用いることになるから、指向性を緩和しようとするほど光電子流が少なくなる。故に信号光ビームを絞って用いれば信号入力を全て用い得るから、差周波数電子流を減少せず実用上有利である。

つぎに信号光ビームと局発光ビームがそれぞれ別のレンズで集束され、両レンズの共通な焦点面に置かれた光電面上で重畳されている場合を考える。この場合の指向性の議論は信号光のみを

絞った場合と全く同じことになる。即ち photomixing の起きている光電面の面積によってその指向性パターンが決定される。信号光ビームのみを集束した場合は、局発光ビームの一部分のみが有効でその他の部分はショット雑音となり、変換利得が小さくなる。しかし両ビームを絞って重畳するとこの点が改善される。即ち両ビームのスポットサイズが光電面上で同じであり、常に完全に重なるようにすれば、SN 比はよくなり、変換利得も大きくなる。しかしスポットを検波面上で完全に一致せしめるには精巧な追尾装置が必要であろう。

実験に使用したレーザー光のスポット半径は $\rho_0 = 1 \text{ mm}$ であるから、式(5)より焦点距離が 59.1 cm のレンズでは $r_0 = 0.228 \text{ mm}$ であり、 102.5 cm のレンズを用いた場合には、 $r_0 = 0.396 \text{ mm}$ である。これらの結果を用いて計算した結果が理論曲線として Figs. 1, 2 および 3 に示された。焦点距離の短いレンズで集束すれば、光電面上のスポットが小さくなり、指向性の緩和されることがよく示されている。また両ビームを集束した場合、その指向性は光電面でのスポットが同じであれば同じパターンとなることを知った。

4. 結 論

集束ビームを用いた Photomixing における指向特性について、実験的検討と波面によるアンテナ特性を考察した。結果をまとめると次のようになる。

1. 集束ビームを用いた Photomixing の指向特性は検波面におけるスポットサイズによって定まる。従って信号光ビームのみを集束した場合も、信号光と局発光のビームをともに集束した場合も指向性に関しては同じである。
2. 集束ビームを用いた指向性パターンは非集束ビームを用いた場合の受光面の大きさが、集束光のスポットと同じ大きさの場合と同じになる。
3. 集束ビームを用いた時も、アンテナ特性が成立し、指向性を緩和するには受光面を出来るだけ小さくしてやればよい。
4. 実効開口面積と立体角に関するアンテナ特性は両ビームの波面を考えることによって容易に導き得る。

おわりに討論下さった坪俊宏氏、実験に助言下さった千田正彦助手、福田長重助手、固体電子工学講座および電波応用工学講座の各位に感謝する。また助言下さった高城洋明氏、井上茂章氏および三島英人氏に感謝する。さらに電気四学会北海道支部連合大会（昭和44年10月9日）で御討論下さった鈴木道雄教授と今井正明工学博士に深謝する。

参 考 文 献

- 1) Stroke, G. W.: Lectures on "Optics of coherent and non-coherent electromagnetic radiations", Department of Electrical Engineering, The University of Michigan, Ann. Arbor, Michigan, 1964 and J. Opt. Soc. Am., vol. 47, pp. 1097-1103, 1957.
- 2) Corcoran, V. J.: "Directional characteristics in optical heterodyne detection processes", J. Appl. Phys., vol. 36, pp. 1819-1825, June 1965.
- 3) Siegman, A. E.: "The antenna properties of optical heterodyne detection receiver", Proc. IEEE, vol. 54, pp. 1350-1356, October 1966.
- 4) Sakuraba, I. and Tsubo, T.: "Directional characteristics and forms of the detector surface in optical heterodyne detection processes", Memoirs of the Faculty of Engineering, Hokkaido University, Sapporo, Japan, No. 56, pp. 295-318, January 1969.
- 5) Sakuraba, I.: "Signal power output and wavefront curvature in optical heterodyne detection processes", Memoirs of the Faculty of Engineering, Hokkaido University, Sapporo, Japan, (to be published) および昭和44年電子通信学会全国大会, 東京, (1969-9).

- 6) DeLange, O. E. : "Optical heterodyne detection", IEEE Spectrum, vol. 5, pp. 77-85, October 1968.
- 7) Sakuraba, I. : "Directional characteristics of Gaussian plane waves in optical heterodyne detection", Memoirs of the Faculty of Engineering, Hokkaido University, Sapparo, Japan, (to be published) および昭和45年電気四学会連合大会, 東京, (1970-4).
- 8) Sakuraba, I. : "Design considerations on optical heterodyne ultrasonic image converters", 昭和44年電気四学会北海道支部連合大会, 室蘭, (1969-10).
- 9) 小柳幸次郎, 坪俊宏, 桜庭一郎 : "Photomixing における指向性の一測定", 昭和43年電気四学会北海道支部連合大会, 札幌, (1968-10).
- 10) 小柳幸次郎, 桜庭一郎 : "Photomixing における方向係数の一測定", 北海道大学工学部研究報告, 第53号, pp 159-169, (1969-3).
- 11) 小柳幸次郎, 吉田吉憲, 桜庭一郎 : "光ヘテロダイン検波における集束ビームの指向性", 昭和44年電気四学会北海道支部連合大会, 室蘭, (1969-10).
- 12) Born, M. and Wolf, E. : "Principle of optics", Third Edition, Pergamon Press, London, 1965.