

特異値分解を用いた２次元光デバイスのアライメントの解析

An analysis of alignment based on singular value decomposition

東京大学工学部 ○成瀬 誠, 石川 正俊

Univ. of Tokyo Makoto Naruse and Masatoshi Ishikawa

はじめに 面発光レーザアレイやフォトディテクタアレイなどの２次元状の光デバイスを用いた光インターコネクションを振動等の存在する環境下で実現する際に、発光素子、受光素子間のアライメントは重要な問題であり、ピエゾアクチュエータ等を用いて動的にデバイスの位置姿勢を制御する技術（アクティブアライメント）は、実時間で光学系のアライメントを行うための一つのアプローチである．一般にデバイスの位置姿勢は６自由度により決まるが、本稿では２次元アレイ状の光デバイスを用いた光インターコネクションにおいて重要となる自由度を特異値分解の手法により導いた．また、基礎的実験により理論の検証を行なった．

理論 Fig.1 に示すように受光素子アレイ (PD アレイ) 及び光線アレイ (例えば VCSEL アレイ) をモデル化する．各々の受光素子の領域内に光線が存在している場合を「**アライメントが達成されている状態**」と定義する．光線の拡がり及び受光素子の面積により、PD アレイの位置姿勢に多少のずれが存在していても光インターコネクションの機能は達成される．そこで、アライメントが達成されている状態を示す指標として、Fig.2 に示すように受光素子面上で「**アライメント指標**」を定義する．PD アレイの位置姿勢の微小変化に対する「アライメント指標」の変化は、素子ピッチ p 、PD アレイ面内での素子の位置 (i, j) 、光の拡がり角 δ 、６軸ステージの分解能 $r_x, r_y, r_z, r_\psi, r_\theta, r_\phi$ 、ステージの分解能を基準にした PD アレイの位置姿勢を表すパラメータ $x, y, z, \psi, \theta, \phi$ により、近似を用いて、

$$\begin{pmatrix} dk_1 \\ dk_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_x r_\theta \theta \tan \delta - r_x, & -r_y r_\phi \phi \tan \delta, & r_z \tan \delta + r_z r_\theta \theta, & j p r_\psi \tan \delta, & \tan \delta (r_x r_\theta x - i p r_\theta) + r_z r_\theta z, & r_\phi j p - r_\phi r_y y \tan \delta \\ -r_y r_\phi \phi \tan \delta - r_y, & r_z \tan \delta + r_z r_\psi \psi, & j p r_\psi \tan \delta + r_\psi r_z z, & r_x r_\theta \theta \tan \delta, & \tan \delta (r_x r_\theta x - i p r_\theta), & -r_\phi i p - r_\phi r_y y \tan \delta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dx \\ dy \\ dz \\ d\psi \\ d\theta \\ d\phi \end{pmatrix} \quad (1)$$

と表される．(1) 式において PD アレイの位置姿勢の微小変化を記述するパラメータ $(dx, dy, dz, d\psi, d\theta, d\phi)$ と「アライメント指標」の微小変化 (dk_1, dk_2) を関係づける 2×6 の行列に対し特異値分解を行った．この場合、大きい特異値に対応する成分がアライメントへの寄与が大きいことを示す．(1) 式の行列の成分はデバイスの位置姿勢等に依存するが、ここでは光インターコネクションにおいて典型的に用いられる値を代入した上で特異値分解を行った結果、 $(x, y), z, \phi, (\psi, \theta)$ の順にアライメントへの寄与が大きいことが示された．

実験 PD アレイとして CCD カメラを用い、VCSEL アレイを光源とした簡単な光学系により、上述の理論を検証する実験を行ない、理論とほぼ同様の結果を得た．

まとめ ここで示された理論に基づき、アライメントに大きく寄与する自由度には高性能のアクチュエータを用い、比較的寄与の少ない自由度に対しては手動あるいは低性能のアクチュエータで制御するといった、光学系設計上の指針が得られた．

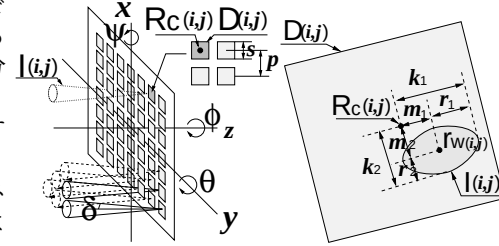


Fig.1 Modeling.

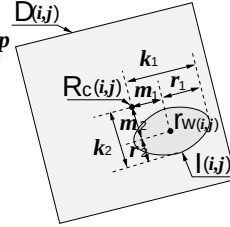


Fig.2 Alignment index.