

Lasers em detecção remota

JOÃO DE LEMOS PINTO

Departamento de Física, Universidade de Aveiro

O desenvolvimento de sistemas laser a partir dos anos 60 para fins militares originou o aparecimento posterior de diversos sistemas de detecção remota com as mais variadas aplicações. De referir, por exemplo, a medição de poluentes atmosféricos e aquáticos, as previsões meteorológicas, o pré-aviso de trovoadas e a segurança rodoviária.

De um modo geral, detecção remota diz respeito tanto à detecção qualitativa como quantitativa de um dado parâmetro físico ou químico no ambiente. Isto permite melhorar significativamente não só a capacidade de inventariação dos recursos naturais como a de detecção de alterações na qualidade do ambiente. Mais ainda, permite influenciar decisões políticas e económicas quer a nível local quer nacional ou/e internacional.

A detecção remota da atmosfera pode ser realizada por técnicas passivas e/ou activas. As primeiras utilizam a radiação natural proveniente do ambiente, sol, lua e planetas; as outras implicam a iluminação do alvo por uma determinada fonte de radiação. A interacção da radiação com as espécies a investigar é observada e a concentração destas inferida.

O laser é a fonte de radiação ideal que dá ao projectista de um dado sistema múltiplas opções. Isto obviamente devido às suas características de monocromaticidade, coerência espacial e temporal, direcionalidade, brilho e estabilidade em frequência.

Em detecção remota a ideia básica é desenvolver sistemas portáteis e sensíveis, com lasers e telescópios, para análise da atmosfera, ou seja, para análise de aerossóis, gases e/ou outras partículas presentes na atmosfera. Em geral, estes sistemas são projectados para detectar sinais a uma dada distância usando retroreflectores, alvos topográficos ou aerossóis. O objectivo final é a obtenção de valores da concentração integrada das espécies moleculares ao longo de um percurso, valores da veloci-

dade de ventos e/ou vistas aéreas da superfície terrestre. Se além de concentrações integradas, também medirem distâncias, tipo radar convencional, os sistemas designam-se então por LIDAR (*L*ight *D*etection *A*nd *R*anging) ou LADAR (*L*aser *r*ADAR).

Métodos de detecção remota da atmosfera

As técnicas correntes para detectar os constituintes da atmosfera são baseadas na (i) dispersão de Raman, (ii) dispersão de ressonância e fluorescência e (iii) absorção. O método mais directo e sensível é o de absorção. E isto devido às técnicas de dispersão poderem ser severamente limitadas devido à sua dependência da secção efectiva de dispersão e da densidade do poluente.

De um modo geral, podem ser utilizados sistemas de antenas comuns ou separadas para detecção de:

- velocidades de ventos e turbulência atmosférica via flutuações do índice de refração n ;
- espécies moleculares e atómicas via dispersão e absorção;
- concentração de constituintes moleculares e distribuição de temperatura e pressão via dispersão de Rayleigh.
- densidade e dimensão de aerossóis, poeiras e outras partículas via dispersão de Mie;
- espécies moleculares, atenuação atmosférica e visibilidade via dispersão de Raman.

Nos sistemas que envolvem absorção em longas distâncias são emitidos dois raios laser ou um único laser sintonizado «on» e «off» na frequência de ressonância do poluente em questão. A concentração do poluente é então determinada através da razão logarítmica das potências detectadas em ambos os casos. Em comparação com as técnicas de dispersão, este método tem as vantagens de uma elevada sensibilidade, relativa simplicidade e possibilidade

de medições a longas distâncias com um mínimo de potência. Esta técnica não oferece todavia qualquer resolução. Esta pode obter-se associando a dispersão de Mie como retroreflector distribuído. Foi um processo sugerido em 1964 por Schotland e é usualmente descrito por DAS (*Differential Absorption and Scattering*). Devido à sua elevada sensibilidade, esta técnica revelou-se adequada para detectar a maior parte dos poluentes gasosos normalmente presentes nas áreas urbanas cujas concentrações variam de 0.01 a 10 ppm para moléculas e de 0.01 a 10 ppb para vapores de metais.

Para ser possível a medição de um dado poluente a diferença de potências retrodispersas, quando o laser está ou não sintonizado em ressonância com o poluente em questão, tem de ser pelo menos igual à potência mínima detectável pelo sistema. A precisão da medida será determinada pela precisão com que uma variação no sinal recebido pode ser detectada. Experimentalmente, variações de 0.1 % em intensidade já têm sido detectadas para sinais de potência transmitida de 10^{-7} W. As flutuações atmosféricas podem, contudo, alterar significativamente estes valores e, por conseguinte, limitar a sensibilidade do sistema. No projecto de um dado sistema de detecção remota, todas as partes envolvidas têm que ser consideradas, isto é, (i) a geometria óptica do sistema, (ii) os efeitos de propagação e (iii) as características do alvo. As limitações de propagação são impostas pela turbulência atmosférica que, ao determinar a coerência espacial do feixe transmitido, limitam a distância a que o feixe pode ser colimado ou focado num dado alvo. O projectista terá pois que utilizar critérios adequados, baseados em cálculos exactos da razão sinal/ruído para as diferentes configurações ópticas possíveis de transmissão e recepção de um dado sinal. Escolherá depois o tipo de sistema que melhor se adequa aos objectivos que pretenda atingir.

Sistemas laser no visível e no infravermelho

Na última década vários grupos de investigação no mundo inteiro têm utilizado com sucesso sistemas laser no visível e no infraver-

melho para detecção remota de constituintes da atmosfera. De um modo geral, têm-se obtido alcance e sensibilidade comparáveis em ambos os tipos de sistemas. Contudo, e por exemplo, um sistema DAS, baseado em «blue dye lasers», operando no visível, só pode ser utilizado na detecção de dióxido de azoto. Em contrapartida, um sistema DAS, com base em lasers CO₂, emitindo no infravermelho, oferece as vantagens de (i) diversos poluentes poderem ser detectados com o mesmo sistema (O₃, C₂H₄, SO₂, NH₃), (ii) ser inofensivo para a retina e (iii) ter melhor transmissão na atmosfera, especialmente em condições climáticas adversas.

De entre as várias situações em que se têm utilizado com êxito sistemas laser no infravermelho salientam-se as seguintes:

- medição da concentração e distribuição de poluentes atmosféricos em zonas industriais e urbanas;
- dispositivos de segurança em grandes refinarias e fábricas químicas para detecção de químicos tóxicos (por exemplo, COCl₂), misturas explosivas gás/ar (por ex.º, C₂H₄/Ar) e químicos corrosivos (por ex.º, HF);
- estudos de turbulência e trovoadas;
- aquisição de dados sobre distribuição de ventos para geradores eólicos;
- recolha de dados sobre aerossóis atmosféricos;
- estudos de ventos em pistas de aterragem (técnica utilizada pelo «space shuttle»);
- prospecção de gás, óleo e minerais, através das respectivas emanações (por ex.º, a calcite liberta CO₂ em presença de água);
- pré-aviso de tremores de terra por detecção dos gases libertados nas fases preliminares.

BIBLIOGRAFIA

- R. L. BYER — *Optical and Quantum Electronics*, 7, 147-177 (1975).
- R. S. LAWRENCE and J. W. STROHBEHN — *Proc. IEEE*, 58, 1523-1547 (1970).
- R. L. FANTE — *Proc. IEEE*, 63, 1669-1975 (1975).
- E. D. HINKLEY — *Laser Monitoring of the Atmosphere, Topics in Applied Physics*, Springer, 14, (1976).
- H. KIDAL and R. L. BYER — *Proc. IEEE*, 59, 1644-1663 (1971).