

The methods for increasing the dynamic range in the measurement of laser radar signals

清水 浩 笹野 泰弘 竹内 延夫 飯倉 善和 奥田 典夫
H. Shimizu Y. Sasano N. Takeuchi Y. Ikura M. Okuda

国立公害研究所

National Institute for Environmental Studies

1. はじめに モノスタティック型レーザレーターの研究が始まってから、10数年になる。この間に装置の改良から測定法の開発に至るまで、多くの発展が見られた。

ところで、レーザレータによる大気状態の測定において、古くから技術上の問題になって来たことの1つに、信号強度のよりナミラクレシムが亦さか争われる。これは信号強度が一般に距離の2乗に反比例して減衰することと、大気状態の変化により信号強度が大きく変ることによる。このために、通常の測定においては距離の範囲を狭くするとか、大気状態の変化に合わせて、人間の手により感度を細かく調整する等により対応して来た。

また、入-トシエを用いて、この広さに対する試みも幾つか試されている。それらの代表的なものには、光検出器の感度と信号強度の大きさに依りて自動的に変化させる方式や、光検出器から取り出された信号をアナログ的に対数変換させる方式、さらにレーザ-レーダーの受信望遠鏡の視野を調節して、近い距離からの信号強度を圧縮する方式などがある。

これらの方式はいずれも測定精度の低下につながるかと、得られたデータの扱いが難しいとかの理由で実際に使用されることは少なかったように思われる。

ところで、最近のレーザレーダーはコンピュータ化されることが多くなって来た。これは、レーザレーダーで大量のデータ収集、処理を行なわせるとともに、自動的に測定を可能とすることとをねらったものである。このようなシステムを巧みに利用すると、データ処理のソフトウェアの面で、ミクナミックレーザの問題に対処することが可能である。

本文では、この方法を3種類、理論的および実験的に検討したので報告する。

2. γ ニホ₂ - タ化されたレーザレーターの概略

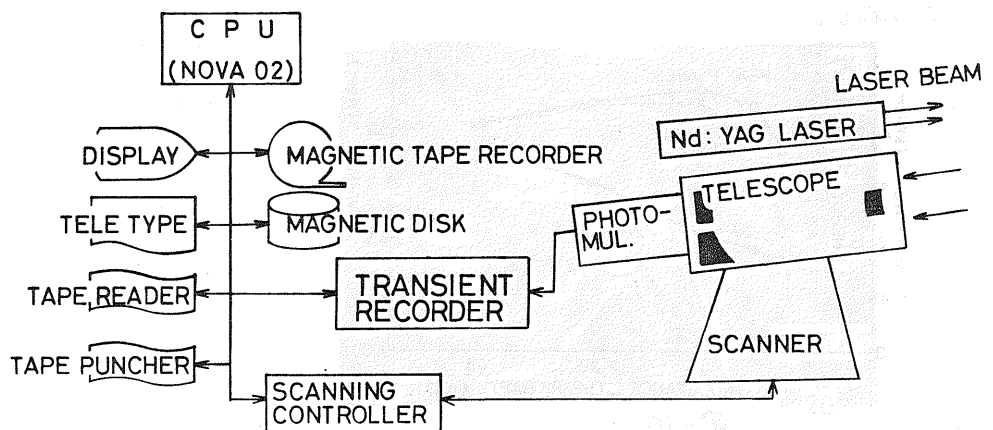
2. コンピュータ化されたレーザレーターの概要 コンピュータ化されたレーザレータ
は、レーザ送受信装置から成るレーザレータ本体と、これをコントロールするコンピュータ
から成っている。データは
高速でA/D変換され、コン

CPU
(NOVA 02)

コンピュータの記憶装置に記録されるが、A/D変換器には通常アナログ・インターフェース・カードが使用され、記録にはマシナティック・テープ・レコーダーが使用されることが多い。

典型的なシステムとして
国立公害研究所の設置の概

要を図1に示す。レ-ホ-図1 国立公害研究所、車載型 CO₂-タービレ-ホ-レ-ター-



送信機にはハイアグレシーユを使用し、トランジェントレコーダーには岩通製DM901を使用している。コンピュータのCPUはNOVA-02である。

3. A/D変換器を複数回使用する方法 この方法はA/D変換器を複数回用意し、各変換器に増幅器等で感度を変えた信号を同時に入力させ、後に変換器出力を合成するものである。こうして、信号の強い部分と弱い部分を要する変換器で処理することにより、ダイナミックレンジの拡大が可能となる。

この方法を実現する場合の機器の構成を図2に示す。すなわち、A/D変換器のダイナミックレンジをN桁とする時、検出器の出力をA/D変換器の回数に応じて均等に分割し、1つは直接、他の1つはN桁倍よりもわずかに少なく増幅あるいは減衰を行なわせる。さらにもう1つは2N桁、4つ目は3N桁よりもわずかに少ないという形で、増幅あるいは減衰を行なわせる。これらの信号を同時にA/D変換を行なわせる。結果に減衰あるいは増幅量に応じた係数をかけ合成する。図2の右方に各A/D変換器で処理された信号の形状が示されているが、これより、各変換器が受け持っている信号強度の範囲が異なっていることが明らかである。

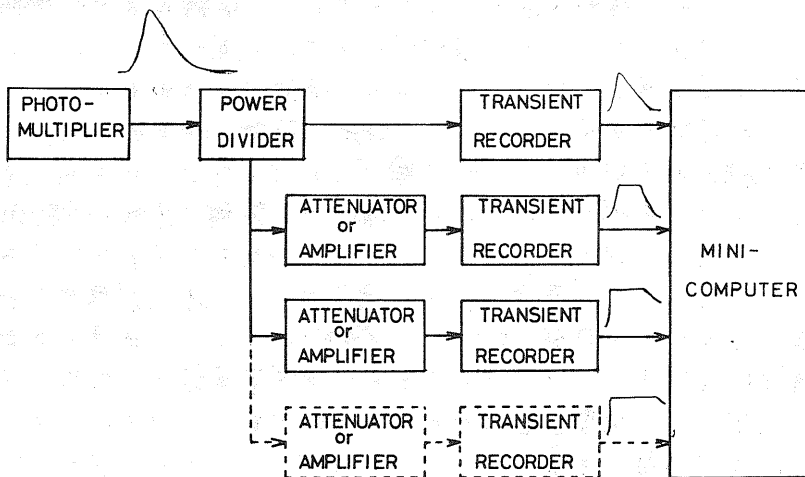


図2 A/D変換器を複数回使用する方法の構成例

この方法によれば、A/D変換器の回数を増やすことにより、検出器のダイナミックレンジが保証される限りの信号強度の変化を捉えることが可能であるが、通常のレーザレータにおいては、トランジェントレコーダーの価格や電氣的ノイズ、増幅器の飽和等の問題から、1分のトランジェントレコーダーの2つのチャンネルのみを使用するか適当と思われる。

次に、この方法を使用し、実験結果について述べる。図3に、この方法を用いる場合に、我々が使用している実際の装置構成のブロック図を示す。フリアンプを通過した信号はインピーダンスを合わせるため、

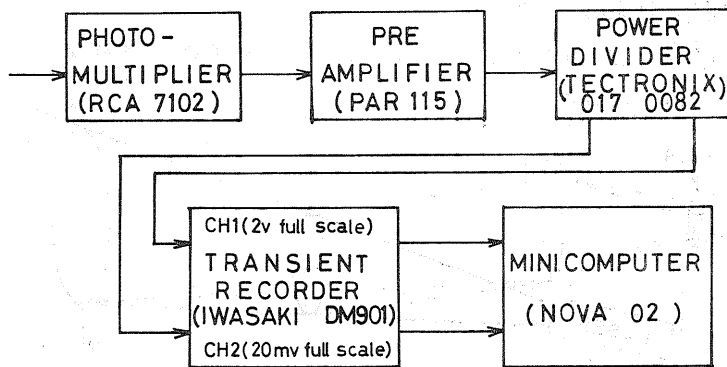


図3 A/D変換器を複数回使用する方法をレーザレータで実現する場合の装置構成

パワーテイクターを用いて均等に分割し、トランジェントレコーダーの2つのチャンネルに入力させる。この時、2つのチャンネルの入力感度を100倍程度変えておく。岩通DM902は8bitの精度を持っているため、100倍の感度の違いと合わせて4桁強のダイナミックレンジを持つことになる。図4に典型的な実験例を示す。図4aと図4bはそれぞれ感度を100倍変えて同時に測定した例であるが、4aでは信号の強い部分が正確に表わされており、4bでは弱い部分が強調されて表わされている。

4 受信望遠鏡の視野を調整する方法 この方法はレーザーレーターの受信望遠鏡の視野を調整して、近い距離からの信号を減少させ、遠方からの信号を近くからの信号に比べ相対的に大きくすることにより、距離方向についてのタリナミックレニを拡大するものである。

レーザーレーターの信号は図5に示すように、近距離においてレーザービームと受信視野が完全に重なり合うために、小さな値を持ち、ローウ値を持った後に遠方において、距離の2乗に反比例して減衰することは周知の通りである。このローウ値を持つ距離はレーザービームの広がりや受信視野の大きさで決定されるが、視野を小さくするに従い、距離が遠方へ移動する。これによりローウ値も小さくなり、相対的に遠方での値が大きくなる。したがって、ローウの位置を遠方に移すことにより、距離方向でのタリナミックレニを拡大することが可能である。ところで、従来の距離の測定から信号のローウ値までの信号は補正不可能ということに捨てられていた。このため、通常のレーザーレーターの使用に際しては、ローウ値と距離を比較的近距离に設定することばかりで、ここで述べるタリナミックレニ拡大法を有効に使用することには出来なかった。ところが最近の我々の研究で、この補正を精度良く、しかも比較的簡単にいう方法を開発したため、実用的にこの方式が使えるようになった。

測定例を図6に示す。図6aとbは受信望遠鏡の視野絞りを変えて測定した例で、図6cは両者を重ね合わせたものである。図6cによると、遠方での信号の形状は両者とも変らず、ローウの大きさとその位置が変化しているのみである。この測定例から、この方式の有効性が実証されたと考えられる。

5 加算平均による方法 A/D変換器を使用した各種の測定において、変換器の分解能以下の入力の変化は測定不可能である。しかし、変換誤差の統計的な性質値を利用し、繰返し測定を行なうことにより、分解能以下の精度での測定も可能となる。

図7の上面に示されるようにA/D変換器に統計的な変換誤差が伴い

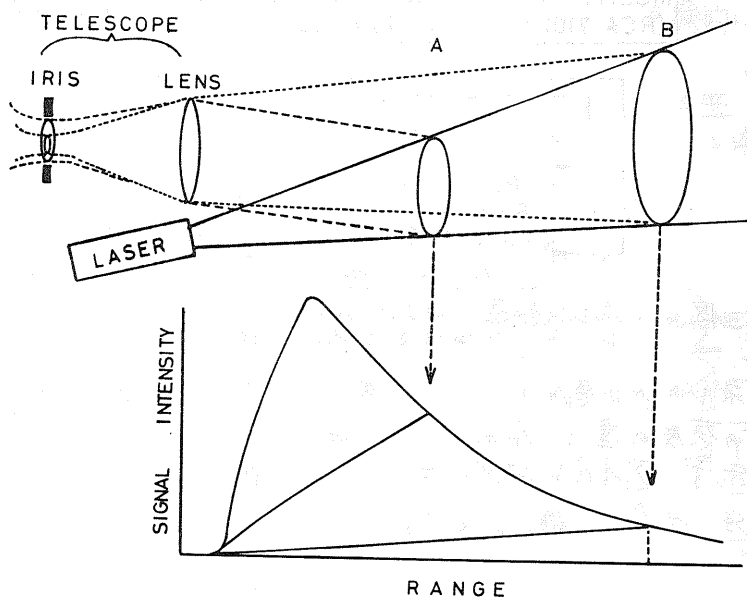


図5 受信望遠鏡の視野を調整する方法の原理図

(a)

(b)

図4 A/D変換器を複数回使用する
方法による測定例

図6 受信望遠鏡の視野を調整する
方法の測定例

(a)

(b)

(c)

場合、変換器入力に対して、出力は実線の様な形となる。しかし、一般には変換誤差が存在するために、破線の様な形となる。この様な誤差が存在するために、分解能以下の変化に対しては、A/D変換器の出力は応答することになる。すなわち、誤差の性質がカウス型として、その分散を σ とする時の入力強度に対するA/D変換出力の期待値を、入力から最小分解能の間の値に対して計算すると、図7の下図に示す如くなる。この図から、分散の値により入力に対する出力の値は変化するか、入力に対する出力が得られることが判る。この計算はA/D変換器の感度の端で行ったもので、入力に対して出力は直線的でないか、入力レベルが分解能よりも下まければ、ほぼ直線的に変化する。

以上のことから、測定を繰り返して、その平均値を求めることにより、変換器の分解能以下の入力の变化が得られることになる。

図8に測定例として、1回だけ測定した結果と、500回繰り返して測定を行ない平均値をとった結果を示す。1回だけのものは遠距離において、A/Dコンバータの1ビット以下が分解されているが、500回計算したものは完全に分解されていることが判る。

6 まとめ ここでは、タリナミックレンジを拡げるための3種類の方法について述べた。才1番目の方法では4桁以上のタリナミックレンジが得られ、才2番目では1桁、3番目では2桁程度の拡大が可能である。これらを組み合わせることにより、7桁程度の信号強度の変化に対応可能で、レーザーレーターの実用上十分であると考えられる。

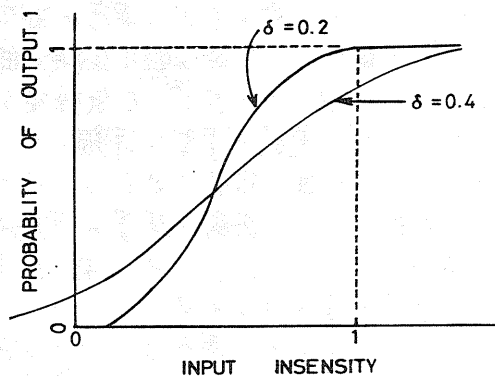
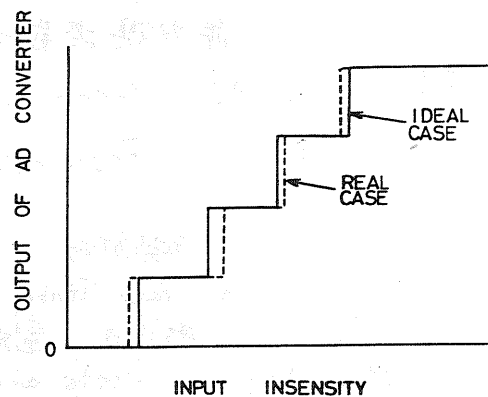


図7 A/D変換器の入出力特性とその統計的性質

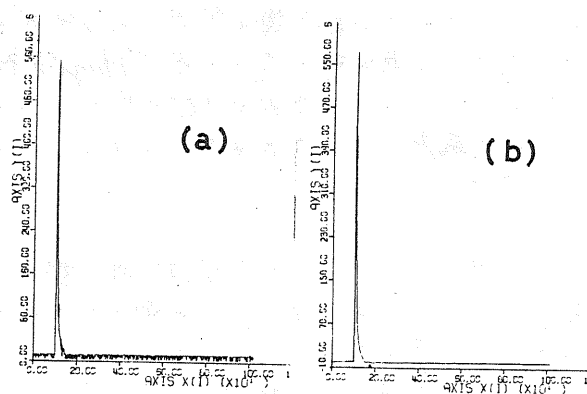


図8 加算平均による方法を用いた測定例