

マルチパスによる GPS 測位誤差軽減方式

准員 鈴木 清文^{*} 正員 岩波 保則[†]
正員 池田 哲夫[†]

A Reduction Method of Ranging Errors in GPS due to Multipath Wave
Kiyofumi SUZUKI^{*}, Associate Member, Yasunori IWANAMI[†] and Tetsuo IKEDA[†], Members

[†]名古屋工業大学電気情報工学科、名古屋市

Nagoya Institute of Technology, Nagoya-shi, 466 Japan

* 現在、三菱電機株式会社通信機製作所

あらまし GPSにおいてマルチパス波が存在すると、追跡位相誤差が生じるため測位誤差が増大する。そこで、マルチパス波の影響を小さくするためのマルチパス軽減回路について検討した。

1. まえがき

近年、人工衛星を用いた測位システムとして GPS (Global Positioning System)が注目されている。GPSは現在ある測位システムの中で最も精度の良いものであり、今後ますます普及し、自動車などに搭載されることなども考えられている。その場合、GPSを都市部など障害物の多い場所で使用すると、衛星からの電波は、ビル等によって反射して受信者に到達することが想定される。この反射波はマルチパス波と呼ばれ、GPSを用いた測距の精度に大きな影響を及ぼすことが考えられる⁽¹⁾。

よって本論文では、GPS受信機の同期回路として最も一般的に使用されているノンコヒーレント DLLに付加するマルチパス軽減回路について述べ、マルチパス波が存在する場合の測位誤差を減少させる方法につ

いて検討した。

2. マルチパス軽減回路

2.1 マルチパス軽減回路の原理

DLLにマルチパス波が加わると追跡位相誤差を生じることは文献(1)で述べられている。GPSにおいてこの追跡位相誤差が生じることは、衛星から受信点までの距離を測距する際、実際の距離よりも長く測定してしまうことであり、その結果測位誤差が増大する。そこで、この追跡位相誤差を軽減するためのマルチパス軽減回路について検討した。

図1にマルチパス波が加わった場合の合成相関関数を示す。 X は規格化された追跡位相誤差であり、 $R(X)$ は X に対する相関関数である。図1で、マルチパス波が希望波よりも小さければ、合成相関関数のピークと希望波のピークは同じ位置にある。しかし、DLLの同期追跡点は図1のようにこのピークからずれている。

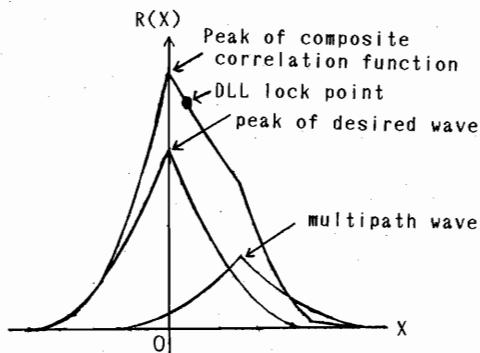


図1 合成相関関数
Fig. 1 Composite correlation function.

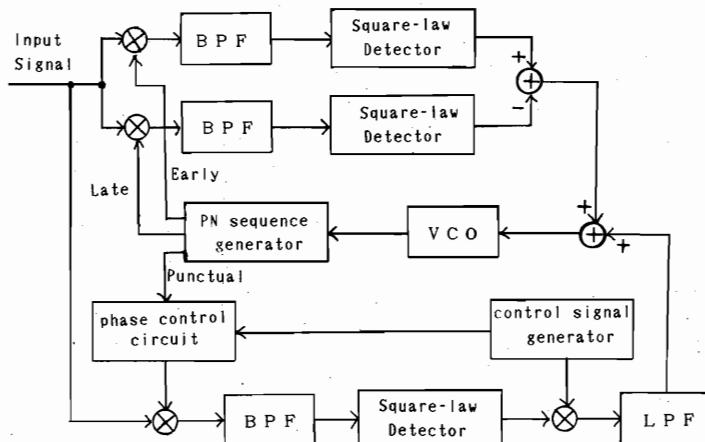


図2 マルチパス軽減回路のブロック図
Fig. 2 Multipath suppressing circuit.

そこで、DLLの同期点の位相をわずかに進ませたときの相関値と遅らせたときの相関値を比較し、相関値の高い方へDLLの同期点を移動させる。そして最終的にDLLを相関値が最大となる位置に同期させる。この原理は文献(1)と同一である。しかし、文献(1)のマルチパス軽減回路はPN系列を直接伝送するベースバンド DLL用のものでありPN系列の正負に従って位相変調するPN-PSK波(BPSK波)に対するノンコヒーレント DLL用のものでない。図2に、ノンコヒーレント DLL用のマルチパス軽減回路のブロック図を示す。

2.2 マルチパス軽減回路の位相誤差軽減効果

図3において、位相誤差測定システムを示す。PN系列のクロック周波数は1.023MHzである。PN-PSK波は、1575.42MHzより10.7MHzの中間周波数へ変換された後に処理することとした。そこで送信側PN系列のクロックとDLL内のPN系列のクロックとのEX-ORをとり、時定数の長いLPFを通すことにより、二つのクロックの位相差に応じた直流電圧を得る。こうしてマルチパスがある場合とない場合の電圧を比較することにより、雑音のない場合のマルチパス波による位相誤差を測定した。その結果を図4に示す。ここで μ は、マルチパス対策回路内のPN系列を微少に動かす幅でPN系列1ビットの幅で規格化したものであり、 g_m はDLLのループゲインで規格化した対策回路のループゲインである。ここでマルチパス波のパラメータを次のように定義する。

$$\alpha = (\text{マルチパス波}/\text{希望波}) = \text{振幅比}$$

τ = 希望波を基準とするマルチパス波の遅れ時間をPN系列1ビット分の時間で規格化したもの

図4には、図2に示したマルチパス軽減回路を等価低域モデルに直し、シミュレーションにより求めた計算値(実線)も示した。その結果、計算値、実験値共に対策回路がある方が位相誤差が小さくなっている。計算値と実験値との差は、微少電圧を增幅する際の回路の不安定性、DLLにおける二つの相関器の微妙なアンバランスなどが原因と考えられる。

2.3 マルチパス軽減回路の雑音特性

GPSにおいて同期回路の雑音特性は、測位誤差に直接影響してくるため非常に重要である。しかし、文献(1)においてマルチパス軽減回路の雑音特性は、DLLのみの場合と比べてあまり変化しないとしか述べられていない。そこで本論文では、雑音がある場合における実験およびシミュレーションによりマルチパス軽減

回路の雑音特性を評価した。まず、雑音のある場合における位相誤差の測定を行った。その結果としてC/N=50(dB-Hz)の場合を図5に示す。BLはDLL自体の雑音帯域である。図5には、等価低域モデルに雑音を付加し⁽²⁾、シミュレーションによって求めた結果(実線)も示した。図5より、雑音の存在する場合でもマルチパス軽減回路は、位相誤差軽減効果があることがわかる。

次にマルチパス軽減回路の雑音による位相誤差分散特性をC/Nを変えて測定した。測定システムのブロック図を図6に示す。図6においてマルチパス軽減回路を希望波に同期させた状態で雑音を加える。それと同

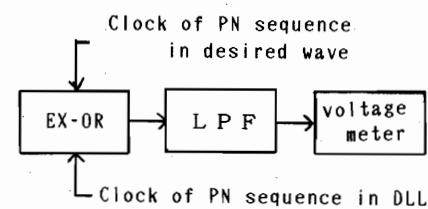


図3 位相誤差測定システム
Fig. 3 Phase error measurement system.

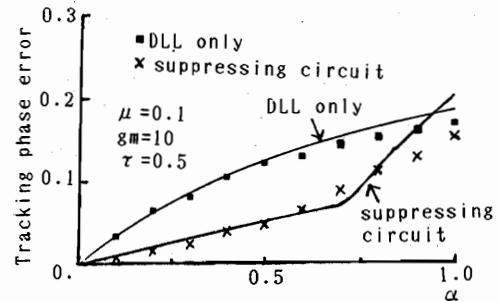


図4 位相誤差軽減効果(雑音なし)
Fig. 4 Effect of multipath suppressing circuit in the absence of noise.

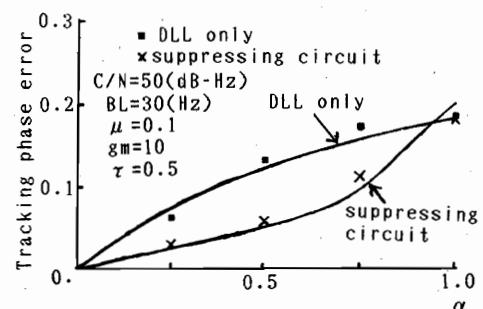


図5 位相誤差軽減効果(雑音あり)
Fig. 5 Effect of multipath suppressing circuit in the presence of noise.

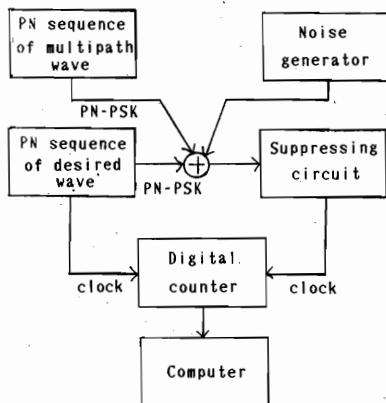


図6 雑音特性測定システム

Fig. 6 Noise tracking error measurement system.

時にデジタルカウンタを PN 系列のクロックの 50 倍のクロックで動かし、デジタルカウンタを希望波の PN 系列とマルチパス軽減回路内の PN 系列のクロックの立ち上がりでスタート、ストップさせる。こうして順次デジタルカウンタの値をコンピュータに入力し計算して、雑音特性を求めた。 $\alpha=0.5$, $\tau=0.5$ とし、DLL のみの場合と比較した。その結果を図 7 に示す。図 7 には、シミュレーションによる計算値(実線)も示した。図 7 より、 C/N が悪い場合に軽減回路の方が劣化するが、 C/N の良い場合にはあまり変化しないことがわかる。また、 C/N がよい場合の計算値と実験値とのすれば、測定システムのデジタルカウンタの分解能が 0.02 であるので、0.02 より小さい誤差を測定すると、誤差が大きくなるためであると考えられる。

2.4 GPS におけるマルチパス軽減回路

GPSにおいて、衛星から受信者までの距離を測距する際の誤差は、マルチパスによる位相誤差と雑音によって生じるジッタによる誤差を含めた総合的な誤差を考える必要がある。そこで総合誤差をシミュレーションにより計算した。その結果を図 8 に示す。

GPS の場合は⁽³⁾、 C/N が 40(dB-Hz) 位であるので、この C/N における総合誤差を見ると、 $g_m=10 \sim 30$, $\mu=0.1$ において DLL のみの場合よりも約 1/3 に誤差を減少させることができる。

3. むすび

本研究により、GPS においてマルチパス軽減回路を用いることにより、追跡位相誤差を軽減できるので、雑音によって生じるジッタによる誤差を含めた総合誤差を小さくできることを示した。

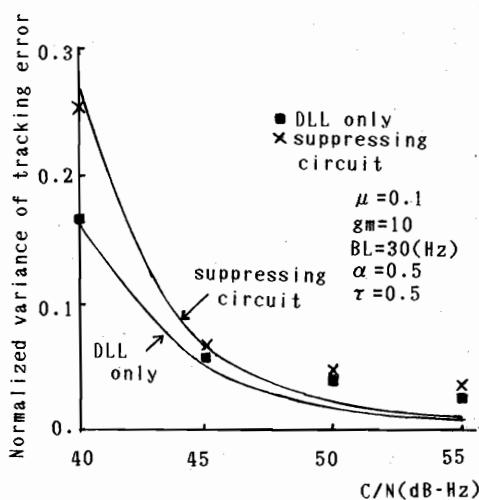


図7 マルチパス軽減回路の追跡位相誤差分散特性
Fig. 7 C/N Ratio vs. variance of tracking error in the multipath suppressing circuit.

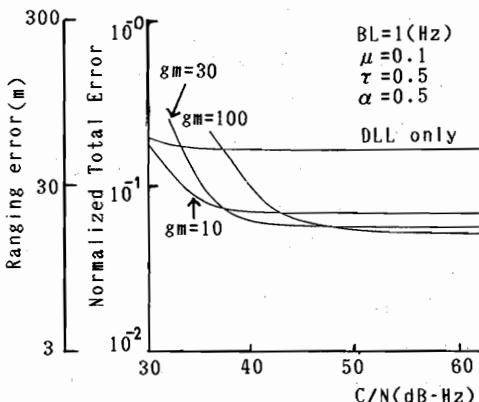


図8 マルチパス軽減回路の総合誤差特性
Fig. 8 Total error of multipath suppressing circuit.

今後は、実際に GPS の信号を受信して、マルチパス波の特性と影響を実際の信号に対して調べ、またマルチパス軽減回路が有効であることをフィールドテストで確認する必要がある。

文 献

- (1) 丸山, 岩波, 池田: “直接拡散方式の同期回路におけるマルチパスによる追跡位相誤差の一軽減回路”, 信学論(B), J69-B, 4, pp. 372-378(昭 61-04).
- (2) Jack K. Holmes: “Coherent spread spectrum systems”, John Wiley & Sons Inc., pp. 467-542(1982).
- (3) 電波標識技術資料, NAVSTAR/GPS, 海上保安庁, 燈台部電波標識課.

(昭和 62 年 3 月 31 日受付, 6 月 9 日再受付)