

GNSS (航法衛星システム) の有効性評価

01206090 (株)東芝 研究開発センター *坂本 英夫 SAKAMOTO Hideo
01701460 米田 清 YONEDA Kiyoshi

1 GNSS と GPS

1.1 GNSS

GNSS (Global Navigation Satellite System) [1, 2] は、世界中から周回衛星を利用して、現在位置や高度を測定するシステムである。周回衛星として、米国の GPS (Global Positioning System) と旧ソ連の GLONASS (GLobal NAVigation Satellite System)¹があり、GPS を利用することが多い。

1.2 GPS

GPS は、米国国防総省 (DoD, Department of Defence) が管理している。1993 年末に、システムが正式に完成し、24 個の衛星で運用している。6 つの軌道の上に 4 個ずつの衛星が、地上から約 20,000 km の軌道にあって、約 12 時間で地球を一周する。衛星から地球に向けて、電波 (時刻信号) を常時送信している。

1.3 GPS による測位方法

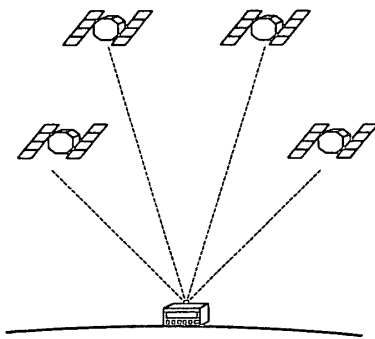


図 1: GPS による測位

各 GPS 衛星には、1 秒当り 10^{-11} /秒 から 10^{-12} 秒という非常に安定度が高い原子時計が搭載され、地上から厳密に制御されている。しかし、受信機の時計は原子時計と比較すると数十万倍以上も安定度が悪い。測位するためには、緯度・経度・高度の他に、時計誤差を求める必要がある。そのため、4 個以上の衛星が利用できなければならない。

¹GNSS と GLONASS は同一単語の略語であるが意味は違う。

2 有効性

有効性は、availability の訳語の一つで、システムが要求通りに利用できる時間割合である。GNSS の場合は、測位誤差が要求上限値未満となる時間割合である。

測位精度は、いくつかの要因によって決まっている。まず、電離層の影響やマルチパスやノイズなどがある。また、GPS は民間に解放されているが、DoD は、民間が利用する場合は軍事利用の場合より精度が低くなるような制御をしている。これを SA (Selective Availability) という。さらに別の要因は、衛星の位置である。衛星の位置の良し悪しを表わす指標を GDOP (Geometric Dilution of Precision) という。

有効性を計算する際には、衛星の故障を考える必要がある。衛星の位置が測位精度に影響を与えるので、利用できる衛星の組み合わせが変わると有効性は変化する。故障している衛星の組合せを事象と呼ぶことにする。なお、故障にはメンテナンス等で利用できない状態も含む。

有効性を

$$Ava = \sum_i P_i A_i \quad (1)$$

とする。ただし、 i は事象を、 P_i は事象 i が発生する確率を、 A_i は事象 i の下で測位誤差が上限値未満となる確率を表わす。

測位誤差は距離計算に含まれる誤差と衛星の位置関係による誤差からなる。距離計算に含まれる誤差はある確率分布に従うと仮定する。測位誤差は、距離計算の誤差を GDOP 倍したものと仮定する。以上より、測位誤差は GDOP の値で決まり、

$$A_i = \Pr\{GDOP < \text{上限値} \mid \text{事象 } i\} \quad (2)$$

とする。

3 有効性の計算方法

GPS の場合、衛星の個数が 24 個あるので、全ての故障の組合せは $\sum_{i=0}^{24} {}_{24}C_i \approx 1700$ 万通りである。全ての組合せについて計算することは不可能である。そこで、近似計算を行なうことにする。

3.1 通常の計算方法

衛星の位置は、測位する場所と時刻が決まれば求めることができる。利用できる衛星の中から、GDOPが最小となる4個の組合せを求める。その時、後で述べる近似計算のために、4個の衛星とGDOPを記録しておく。GPSの場合は、約12時間で周回するので、測位時刻は12時間分、または、24時間分更新する。

3.2 部分事象

現在の事象を $\{s_1, s_2, \dots, s_L\}$ (s_i は衛星名) とし、 L 個の衛星が故障しているとする。この衛星の組 $\{s_1, s_2, \dots, s_L\}$ から、 $L-1$ 個の衛星から成る組合せを考える。このようにしてできる衛星の組合せをこの事象の部分事象と呼ぶ。 L 個の衛星から $L-1$ 個の衛星の組合せを考えるので、このような組合せは L 通りできる。

事象と部分事象を比較すると、元の事象のみに含まれている衛星が1つだけあり、残りの衛星は全て両方に含まれている。この元の事象のみに含まれている衛星を部分事象の着目衛星と呼ぶ。

部分事象	着目衛星
{2,5}	23
{2,23}	5
{5,23}	2

表 1: 事象 {2,5,23} の部分事象と着目衛星

例えば、事象 {2,5,23} の場合を考えると、 $L=3$ の場合なので2個の衛星の組合せを考える。部分事象 {2,5} と着目衛星 23、部分事象 {2,23} と着目衛星 5、部分事象 {5,23} と着目衛星 2、の3通り考えることができる。

事象と部分事象の利用率の間には以下の関係が成立する。

性質 1

$$A_i \leq \min_j A_{i_j} \quad \forall i \quad (3)$$

A_{i_j} : 部分事象 i_j の利用率

3.3 近似計算方法

以下のような仮定において近似計算法を考える。

仮定

部分事象の着目衛星を利用する回数が少なければ、 $A_i = A_{i_j}$ が成立する。

この仮定に基づいた近似計算方法は以下の通りである。

1. 現在の事象の衛星故障個数が基準値以下の場合には必ず通常の計算を行なう。
2. 衛星故障個数が基準値より多い場合は以下の手順で判断する。
 - (a) 全ての部分事象について着目衛星の衛星利用率を求める。
 - (b) 求めた衛星利用率が近似計算率より小さいならば、その部分事象の利用率 A_{i_j} を計算する。
 - (c) 計算した部分事象の利用率の中で一番小さい A_{i_j} とし、 $A_i = A_{i_j}$ とする。
 - (d) 全ての部分事象の衛星利用率が近似計算率より大きければ、通常の計算を行なう。

衛星利用率は、

$$\text{衛星利用率} = \frac{4 \times \text{着目衛星を利用した回数}}{\text{測位回数}} \quad (4)$$

で求める。

通常の計算結果と近似計算結果の間には以下の関係が成立する。

性質 2

$$\text{Ava}^* \leq \text{Ava}_x \quad \forall x \in [0, 1] \quad (5)$$

Ava^* : 近似計算をしない場合の有効性
 Ava_x : 近似計算率が x の場合の有効性

また、近似計算率と有効性との間には以下の関係が成立する。

性質 3

$$\text{Ava}_x \leq \text{Ava}_y \quad x < y \quad x, y \in [0, 1] \quad (7)$$

Ava_x : 近似計算率が x の場合の有効性

4 計算結果

計算結果は当日会場で発表する。

参考文献

- [1] 日本航海学会 GPS 研究会編. GPS シンポジウム '97. 日本航海学会 GPS 研究会, 1997.
- [2] 北條晴正. Gps(衛星測位システム)の要素技術と開発動向. システム総合研究, No. 209, pp. 14-30. 1997.