

衛星測位システムの搬送波位相を用いた 二輪車車体姿勢角推定手法の検討*

太田拓伸[†]木谷友哉[‡]

静岡大学 情報学部

1 はじめに

二輪車の車体運動モデルの解析にあたり、車体姿勢角を正確に計測することが重要である。そこで、本研究では、全地球測位システム (GNSS) の搬送波位相を用いた姿勢角測定手法とそれを用いて二輪車車体姿勢角を推定する手法について提案する。

GNSS の各衛星からの測距信号の搬送波位相を使用することで、数 mm の分解能で衛星と受信機の距離を計測することが可能である。これを利用して複数の受信機により二輪車の姿勢を計測することを考える。

2 GNSS の搬送波位相を用いた 姿勢角推定

2.1 既存の搬送波位相を用いた姿勢推定手法

既存の推定手法では、アンテナと受信機を複数用意し、片方を基準局、もう一方を移動局と見立て、RTK (リアルタイムキネマティクス) 測位を行い、アンテナ間の位置ベクトルを算出している。このとき、各受信機が受信した衛星までの搬送波に含まれる波数の整数値 (整数値バイアス) を推定し、収束させてアンテナ位置の Fix 解を求め、そこから姿勢角を求めている。この推定は Fix 解を求めなくてはならないため、ドローンの姿勢推定など電波受信状況が良い条件で主に用いられている。二輪車はそれらと異なり地上を走り、車体の傾斜によってアンテナ向きも大きく変化する。そのため、二輪車にそのまま適用することは難しい。

2.2 提案する位相差を用いた姿勢角推定

提案する位相差を用いた姿勢角推定では既存の推定手法と同じく各受信機では衛星からの搬送波の位相を計測するが、整数値バイアスを解かず搬送波位相の小数部のみを使用して車体姿勢角を求める。ヨー、ロール、ピッチの三つの姿勢角を求めるには 2 基線 3 アンテナ必要であるが、説明の簡略化のためここでは 1 基線 2 アンテナとする。

アンテナと波長差の関係を図 1 に示す。このとき、アンテナ間距離 L を短くし、波長差 D を 1 波長以内に制限することにより整数値バイアスを解く必要がなくなる。2 つのアンテナの受信機の時計誤差を Δt 、光速を c 、衛星 k の仰角を E_k 、衛星 k の方位角と車体の進行方向の角に垂直なアンテナ間基線の水平投影とのなす角を θ_k 、2 つのアンテナの地表に対するロール角を r とすると、関係式は次になる。

$$\cos(\theta_k) = \frac{D_k + c \times \Delta t - L \sin(E_k) \sin(r)}{L \cos(E_k) \cos(r)} \quad (1)$$

未知数はロール角 r と車体の向きと受信機間時計誤差 Δt である。式 (1) を複数の衛星で連立させて解くこと姿勢角を求めることができる。

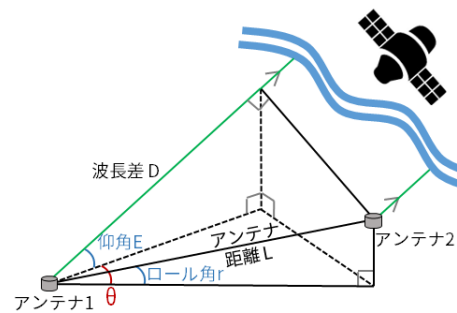


図 1: アンテナ間距離と波長差の関係

3 提案する搬送波位相を用いた 二輪車車体姿勢角推定法

3.1 対象とするデータ

自動二輪車の運動解析は、速度、ロール角、ヨー角、ステアリング角、ステアリングトルク、横滑り角の計測が必要とされている [1]。ここでは搬送波位相によって、この中の姿勢角であるロール角とヨー角を計測することを対象とする。

3.2 二輪車の姿勢角計測で搬送波位相を用いるときの制約とそれによる問題点

ロール角とヨー角を計測するためには、GNSS アンテナを進行方向に向かって垂直に、地表に平行に左右対称に 2 箇所設置する。

二輪車の姿勢角推定に搬送波位相を用いるにあたり問題点が主に三つある。第一に運転者が衛星電波を遮つ

* A Proposal of Attitude of Motorcycle body estimation with Carrier-phase measurement of GNSS

[†]Hironobu Ohta

[‡]Tomoya Kitani

てしまう問題である。図2に示すようにアンテナを二輪車前方に設置した場合、後方の一部の衛星は運転者の影になり搬送波位相が得られない。第二に地面に近いことによりマルチパスが大量に発生する問題である。図3に示すように車体が大きくロールすることで、地面に跳ね返った電波を受け取りやすくなる。第三に車体がロールすることにより、アンテナの向きが変わる問題である。図3に示すようにロールすると、衛星仰角が高くても受信できない衛星が発生してしまう。



図2: 運転者による電波妨害

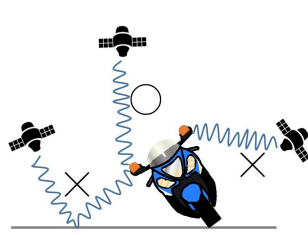


図3: マルチパスとアンテナ向き

3.3 提案する二輪車車体姿勢角測定法

次に先に述べた GNSS 信号による二輪車の姿勢角推定の問題についてであるが、次のように対応する。

第一の問題については、演算に用いる衛星を動的に選択することで、解決する。二輪車は前進のみ行うため、二輪車前方にアンテナを取り付けた場合、運転者の位置は、アンテナから見て進行方向の逆方向である。進行方向角は GNSS の単独測位により求めることが可能であるため、進行方向の逆方向にある運転者の影となる衛星を演算から動的に除外する。

第二の問題は、各衛星の SN 比を比較し、高い衛星を優先的に演算に使用することで、解決を図る。これだけでは、マルチパスを除去しきれないと考えられるため、演算に用いる衛星の組合せを数パターン作成する。マルチパスが入っていないパターンでは全て結果が等しくなると考えられるため、等しくなった結果が正しい結果として出力する。

第三の問題では、第一の問題と同じように、衛星を動的に選択することで、解決する。この際、現在の姿勢角がわからないと、アンテナ向きもわからないため、1 時刻前の姿勢角を用い、現時刻で取得できそうになり、衛星は演算から排除する。排除されなかった衛星を用いて、現時刻の姿勢角の算出を行う。

3.4 評価方法と結果

静止状態で 2 アンテナを用い車体の方位角を既知としてロール角のみの算出評価を行った。用いるデータ

は北を向いて 20 度程度右にロールしたものを用意した。未知数はロール角と受信機間誤差であるため、算出に必要な衛星数は 2 衛星である。表 1 に計算に用いたある時刻の 4 衛星の仰角、方位角、左右それぞれのアンテナの位相の小数部、アンテナ間の位相差を示す。

表 1: 衛星とその位相差

衛星名	仰角	方位角	左	右	位相差
G21	32	71	.170	.223	.947
G26	57	41	.508	.540	.968
G27	62	234	.443	.674	.231
G31	39	136	.245	.508	.737

演算結果を表 2 に示す。ここでロール角の単位は度である。

表 2: 衛星組合せと結果

衛星 1	衛星 2	ロール角 1	ロール角 2
G21	G26	19.98	-90.95
G21	G27	5.86	-68.14
G21	G31	19.45	-110.25
G26	G27	260.71	-71.33
G26	G31	19.84	-81.96
G27	G31	48.31	4.23

表 2 より G21 と G26 の組合せと G21 と G31 の組合せと G26 と G31 の組合せで 19.5 度付近の値を算出している。また、G27 を用いた計算結果はどれも正しい値になっていないことがわかる。これは G27 からの信号が直接波ではないマルチパス波であるためだと考えられる。

4 まとめ

本稿では、搬送波位相を用いた姿勢角推定手法とそれを用いた二輪車車体向け姿勢角推定方法の提案を行った。評価実験から、マルチパスになっている衛星電波を演算に用いた場合、結果として出る値がばらけているため、クラスタリングすることで正しい結果を推定することが可能であることがわかった。

今後は、実際に二輪車にアンテナを設置し、動いている場合でも正しく姿勢角を算出できることを確かめる。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 26330102 (基盤研究 (C)「二輪車の車体運動センシングシステムの研究」) の助成を受けたものである。

参考文献

[1] 自動車技術会, 自動車技術ハンドブック (1) 基礎・理論編, pp.311-313, 2013.