

論文

通信との統合を考慮した単一衛星による
ディファレンシャル測位方式

准員 藪本 康也[†] 正員 片山 正昭[†]
正員 山里 敬也[†] 正員 小川 明[†]

A Differential Positioning Scheme with a Single Satellite to be incorporated into Mobile Communications

Yasuyuki YABUMOTO[†], Associate Member, Masaaki KATAYAMA[†],
Takaya YAMAZATO[†] and Akira OGAWA[†], Members

あらまし 本論文では、非静止衛星を用いた移動体通信システムにおいて、通信に測位機能を統合することを考え、単一衛星可視の条件下でも動作する測位方式を提案する。提案方式では、移動体衛星通信システムに測位機能を低コストで統合することを考慮し、各移動体における測位のための機器の追加が最小限となるようにしている。また、測位精度を向上するためディファレンシャル測位方式を適用しているが、誤差補正信号の伝送を特に必要としない構成としている。提案方式について、測位に要する時間、衛星高度等をパラメータとして、HDOP、測位誤差の許容値を満たす測位可能地域などの特性を求め、その実用性を評価する。

キーワード 移動体衛星通信システム、ディファレンシャル測位方式、HDOP、測位時間、測位可能地域

1. まえがき

近年、複数の非静止衛星を用いた移動体通信システム^{(1),(2)}が注目され、いくつかのシステムが計画され、あるいは提案されている。また、Global Positioning System (GPS)⁽³⁾のような衛星測位システムの出現により、移動体の測位が普及してきた。このようなすう勢に対応して、移動体衛星通信システムに測位機能を統合することが考えられる⁽⁴⁾。測位機能が統合された移動体衛星通信システムを実現することにより、システムのサービスの拡大が期待できる。例えば、自動車に交通情報を送る、移動体の運行管理を行う、広範囲にわたって移動する動物の位置の認識といったサービスが考えられる。

ところで、非静止衛星を用いた移動体通信システムでは、経済的な理由により、地球全体を常時カバーするのに必要最小限の衛星数で構成されるのが通常である。その結果として、移動体から見える衛星の数が、1個しかない場合が生じる。この場合、従来の測位方式

は、複数の衛星を同時に使用する必要があるため、適用できない。

そこで本論文では、非静止衛星を用いた移動体衛星通信システムに低コストで統合可能な、1個の衛星を用いた測位方式を提案する⁽¹¹⁾。この場合、低コスト性を重視して、移動体衛星通信システムに対しては最小限の変更を加えるだけで済み、かつ各移動体には、測位のための機器の追加を最小限とすることを基本方針とする。

提案方式を評価するための尺度としてHDOP (Horizontal Dilution of Precision; 2次元測位精度低下率)と測位可能地域を取り上げる。そして、HDOPと測位に要する時間の関係、および測位誤差の許容値を満たす測位可能地域を求め、提案方式の実用性を評価する。

本論文は次のように構成される。すなわち、2.では、提案方式の構成と手順について述べ、3.では測距誤差要因について述べる。4.では、提案方式を評価するための上記特性を衛星高度1,000 kmの場合について求めた結果を示す。5.では衛星高度と提案方式の関係を明らかにし、6.では、測位誤差の許容値を500 mとした場合の測位可能地域特性を示す。そして、7.で本論

[†]名古屋大学工学部電子情報学科, 名古屋市
Department of Information Electronics, School of Engineering,
Nagoya University, Nagoya-shi, 464-01 Japan

文のまとめを行う。

2. 提案方式の説明

2.1 提案方式の原理と構成

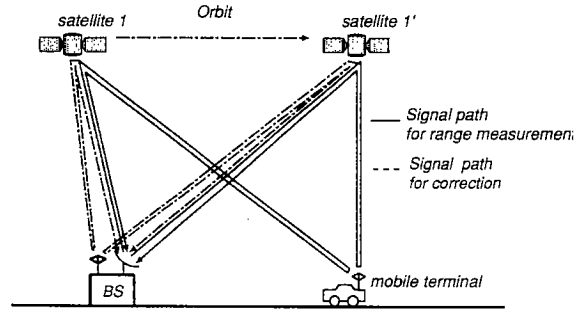
従来考えられている単一衛星による測位方式としては、非静止衛星から送信された電波のドップラーシフトを測定することによって、移動体の位置を求める測位方式^{(5),(6)}、衛星から送信された複数の信号を受信し、その受信信号電力比を計算することにより、移動体の位置を求める測位方式⁽⁷⁾などがある。これらの方式では、測位のための機器の追加が各移動体で必要となり、移動体端末の価格を顕著に高める可能性が大きい。

そこで本論文では、次のような方式を提案する。提案方式の基本原理は、1個の非静止衛星を用いて、異なったタイミングで2度、衛星-移動体間の距離を測定することである。すなわち、測距を行う時刻をずらすことにより、擬似的に衛星が2個存在するとみなしたもので、2衛星測位方式⁽⁸⁾と等価な方式である。この方式にディファレンシャル方式を組み合わせることで測位精度の改善を図る。

一般的なディファレンシャル方式⁽⁹⁾の基本原理は次のとおりである。ディファレンシャル方式では、誤差の補正値を計算するための固定基準局を位置が既知である地点に設置する。基準局は、移動体と同じ方法で、衛星-基準局間の距離を測定する。また、基準局は、衛星の正確な位置、および、自分自身の正確な位置を知っているため、衛星-基準局間の真距離を計算によって、求めることができる。そこで基準局では、さきの測定距離と真距離とを比較することによって、測定距離に含まれる誤差を知る。この誤差を用いて、衛星-移動体間距離に含まれる誤差を補正して、高精度の測位を行うことができる。

提案方式では、衛星-移動体間の距離が、移動体衛星通信システムの基地局によって測定され、各移動体の位置が算出されることを特徴としている。基地局は、同時に衛星-基準局間の距離も測定し、衛星の位置と基準局の位置を基に計算した衛星-基準局間の真距離と測定距離を比較することにより、測距誤差を知る。基地局では、この測距誤差を用いて衛星-移動体間の測定距離を補正する。

提案方式では、基準局の機能を基地局に組み込むことにより、新たに基準局を設置する必要がない。そして、基地局で移動体の位置を算出するために、ディファレンシャル測位に伴う誤差補正信号を伝送する必要



BS: Base Station with the function of the reference station

図1 提案方式の概念図

Fig.1 Concept of the proposed scheme.

がないし、移動体端末に測位機能のための機器の追加はほとんど不必要である。基地局で得られた各移動体の位置情報は、固定通信回線によって、移動体を管理する部所に報告される。提案方式ではこのような、いわゆるポジションレポートシステムが容易に実現できる。また各移動体に対しては、必要に応じてその位置を移動体衛星通信回線によって知らせることができる。

提案方式の概念図を図1に示す。基地局には、ディファレンシャル測位のための機能が組み込まれており、2基のアンテナが設置されている。一方のアンテナは基地局-衛星間のフィードリンク用アンテナで、移動体との通信と測位に使用される。もう一方のアンテナは、移動体に設置されているのと同じアンテナで基準局用である。このように、基準局用アンテナを別に設ける理由は、基地局-衛星間(フィードリンク)と移動体-衛星間のリンクで別の周波数帯が用いられるためである。

2.2 提案方式の測位手順

提案方式では、以下のような手順を用いて、測位を行う。ここでは、測位機能が移動体衛星通信システムに統合されることを前提としているので、移動体には受信機能のみならず、送信機能も備わっているものと仮定している。基地局は、常に測位に必要な情報(信号の送信時刻、基地局識別番号)を含んだ測位信号をフィードリンク用アンテナから、衛星を通じて放送している。移動体側では、基地局から送信された測位信号を受信すると、各移動体は必要な情報(移動体の識別番号、移動体内での信号の受信から送信までの遅延時間)を受信信号に付加し、衛星を経由して基地局に

返信する。基地局はこの返信信号を受信し、基地局-衛星-移動体-衛星-基地局を経た信号の伝搬時間を測定し、これから衛星-移動体間距離を求める。同時に基地局は、基準局用アンテナを用いて測位信号を受信し、衛星を経由して返信する。そして移動体の場合と同じ方法で、衛星-基準局間距離を求める。基地局は、衛星-基準局間の真距離を計算し、測定距離と比較することによって測距誤差を求める。この測距誤差を補正值として用いることにより、衛星-移動体間の距離を補正する。この手順を一定時間後、再度繰り返すことにより、基地局は移動体の位置を決定する。

3. 測距誤差

測距誤差とは、衛星からの距離を測定したときに生じる誤差のことであり、これが測位を行ったときの測位誤差の原因となる。測距誤差の要因^{(9),(10)}には、以下のものがある。

(1) 電離層による電波の伝搬遅延誤差 衛星からの電波は地表に到達するまでに、電離層を通過する。このために、真空中を伝わる場合と比べて到達するのに、遅れを生じ伝搬遅延誤差となる。

(2) 大気中の水蒸気による電波の伝搬遅延誤差 大気の屈折率は正確には1でないために、電波が大気中を通過すると、電離層の場合と同様、真空中を伝わる場合と比べて到達するのに、遅れを生じた伝搬遅延誤差となる。

(3) 衛星の軌道予測誤差 測位計算に用いる衛星の位置と、実際の位置とのずれによって生じる誤差である。

(4) 受信機内の雑音による誤差 移動体および基地局の受信機内で発生する雑音によって生じる誤差である。こういった雑音は受信機の性能によって左右されるランダムな誤差であり、ここで提案する測位方式の評価に直接関係しない。そのために、提案方式の性能評価において、受信機内の雑音による誤差の影響は考慮しないこととする。実際には雑音による影響は無視できないので、別途これを軽減する方策を開発する必要がある。

(5) 電波のマルチパス(多重伝搬)による誤差 衛星からの電波が、地球表面や移動体付近の物体に反射するために起きる誤差のことである。このマルチパスによる影響を正確に予測するのは困難であるが測距誤差に与える影響は小さい。

これらの要因のうち、電離層、対流圏によって生じ

る誤差、衛星の軌道予測誤差などが、測距誤差の大部分を占め、測位誤差に与える影響が大きい。それに対して、受信機内の雑音による誤差、電波のマルチパスによる誤差の影響は小さい。ディファレンシャル測位方式を用いると、測距誤差への影響の大きい電離層、対流圏による誤差、および衛星軌道予測誤差等を顕著に低減することができ、測位精度の向上が期待できる。

4. 提案方式の特性

4.1 特性評価に用いるモデル

提案方式の特性を評価するために、以下のようなモデルを考えた。地球を半径 6,378.14 km の完全な球体と仮定し、地球の自転は無視する。1 個の衛星が昇交点経度 0° の極軌道上を 1 周する場合を考え、衛星は移動体から衛星をみた仰角が 10° 以上で可視であるとする。測距誤差の要因として、電離層や対流圏によって生じる電波の伝搬遅延誤差を仮定し、他の要因による誤差は無視できるものとしている。電離層による伝搬遅延誤差 D_I および対流圏による伝搬遅延誤差 D_T は、それぞれ、式(1)、(2)で表される⁽¹⁰⁾。

$$D_I = \frac{40.3}{f^2} N_{cv} \times \sec[\sin^{-1}(0.95 \cos \alpha)] \quad [\text{m}] \quad (1)$$

$$D_T = N_0 H_s e^{-H/H_s} \operatorname{cosec}(\alpha) \quad [\text{m}] \quad (2)$$

ここで、 α は移動体からみた衛星の仰角を示している。また、式(1)において、電波の周波数 f は 1,600 MHz、 N_{cv} は Vertical electron content を表し、中緯度地域では通常 50 TECU (1 TECU = 10^{16} electron/m²) とされる⁽¹⁰⁾。式(2)において、 N_0 は mean surface refractivity (平均表面屈折率) を表し、 3.2×10^{-4} である⁽¹⁰⁾。 H は移動体の高度を表す。本論文では、移動体は地球上にいると仮定することにより、 $H=0$ m としている。 H_s は対流圏の高さ 7,000 m として計算した。この仮定に基づいて式(1)、(2)を整理し、等価的な距離誤差に直すと、仰角 α にのみ依存した式(3)、(4)が得られる。

$$E_I = 8.07 \sec[\sin^{-1}(0.95 \cos \alpha)] \quad [\text{m}] \quad (3)$$

$$E_T = 2.2 \operatorname{cosec}(\alpha) \quad [\text{m}] \quad (4)$$

そして、これら電離層、対流圏の状態が、衛星のカバレッジ内で一定であると仮定している。このモデルを用いて、提案方式の特性を評価する。

4.2 提案方式の基本的特性

まず、提案方式において、衛星の幾何学的配置に伴う 2 次元測位誤差にかかわる尺度として HDOP (Horizontal Dilution of Precision; 2 次元測位精度低下

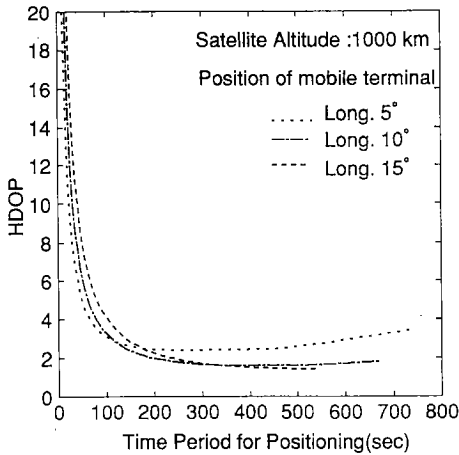


図2 測位時間とHDOPの関係
Fig. 2 HDOP versus time period for positioning.

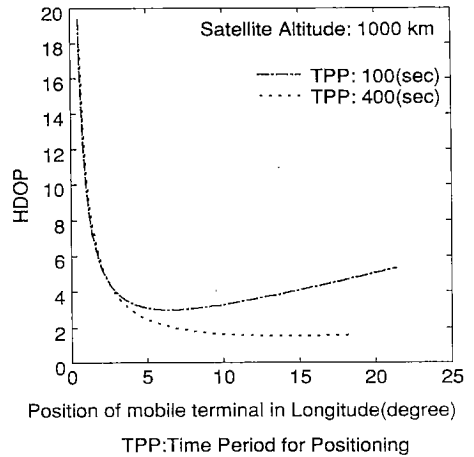


図3 衛星軌道に対する移動体の位置とHDOPの関係
Fig. 3 HDOP versus position of mobile terminal.

率⁽³⁾を求める。測位誤差は測距誤差とHDOPを用いて、式(5)のようにあらわされるので、HDOPが大きくなるにつれて、測位誤差も大きくなる。

$$(\text{測位誤差}) = (\text{測距誤差}) \times (\text{HDOP}) \quad (5)$$

移動体を中心とした単位球を考え、その球面上に、衛星が見える方向に合わせて頂点を置く。提案方式の場合では、擬似的な2衛星測位方式なので、球面上に衛星が見える方向に合わせた頂点というのは、1度目と2度目に測距を行ったときの衛星の位置の方向、および地球の中心方向に対応する。これら球面上の頂点と、単位球の中心を互いに直線で結ぶと四面体ができる。この四面体の体積が増加するにつれて、HDOPは小さくなるという性質をもっている。このHDOPを衛星高度1,000 kmの場合について求めた。

提案方式では、衛星-移動体間の距離を異なったタイミングで2度測定するために、測位に時間を要する。本論文では、この時間のことを測位時間と定義する。

まず、測位時間を変えた場合のHDOPの変化を図2に示す。ここでは、移動体は赤道線上にいるとしている。これは移動体の位置が衛星の位置に対して相対的なものなので、移動体が赤道線上以外の地点で測位を行う場合でも、すべて赤道線上の地点に置き換えても一般性を失わないからである。

図2より、測位時間が100秒までは、測位時間が長くなるほどHDOPは急激に減少し、一方、100秒以上ではほとんど変化しなくなることがわかる。測位時間が長くなると、衛星の移動距離が大きくなる。その結

果、四面体の各頂点が離れて、体積が大きくなり、HDOPが減少すると考えられる。しかし、衛星は円軌道上を周回しているために、測位時間が更に長くなっても、四面体の体積は測位時間に比例して増加しない。そのために、HDOPはそれ以上減少しなくなる。実際の運用においては、測位時間は短い方が望ましい。従って、衛星高度が1,000 kmの場合、測位時間の最も適当な値は、100秒付近であると考えられる。

つぎに、衛星の軌道に対して、移動体の位置が変化したときのHDOPの特性を図3に示す。

図3の横軸は衛星の軌道に対する相対的な経度を示している。すなわち、衛星は昇交点経度0°の極軌道を周回しているため、経度が0°の位置は衛星軌道の真下を意味する。図3より、移動体が衛星軌道の真下にいるときは、HDOPが大きくなり、測位不能となる。これは、ユーザが衛星軌道の真下にいるとき、四面体の頂点が同一平面上にあり、その体積がほとんど0になるからである。

4.3 提案方式の測位可能地域特性

ここで、測位可能地域を次のように定義する。すなわち、移動体が衛星のカバレッジ内で測位を行ったときに、ある許容誤差以内で測位が可能となる範囲である。測位可能地域を求めることにより実際に測位を行う場合、どの程度の広さで、また衛星のカバレッジに対して、どの程度の範囲にわたって測位ができるかが明らかになり、提案方式の実用性が明らかになると考えられる。まず、衛星高度が1,000 km、測位誤差の許

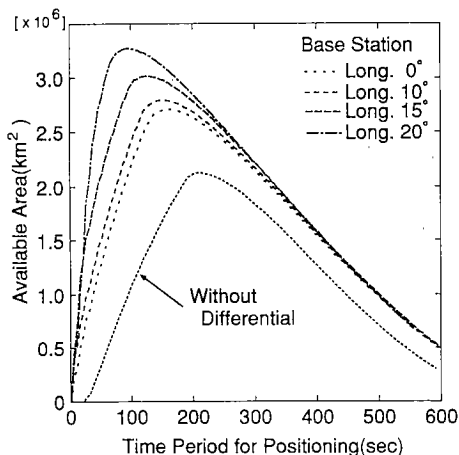


図4 測位時間と測位可能地域の面積の関係 (許容誤差 100 m)

Fig. 4 Available area versus time period for positioning (tolerable error of 100 m).

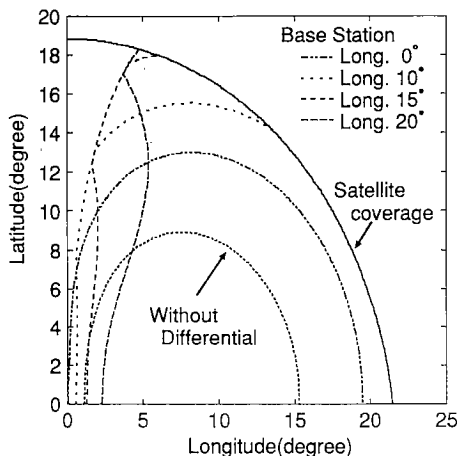


図5 測位可能地域 (許容誤差 100 m)

Fig. 5 Available area (tolerable error of 100 m).

容値を 100 m としたとき、測位時間を変えた場合の測位可能地域の面積の変化を求めた。その結果を図 4 に示す。

図 4 では、基地局の位置が赤道にあり、かつ衛星の軌道に対する相対経度が 0, 10, 15, 20° にあるときの特性をそれぞれ求めた。この図から、測位可能地域の面積は測位時間が 100 秒付近で最大となり、その値は $3 \times 10^6 \text{ km}^2$ 程度である。図 2 で示したように、測位時間が大きくなるにつれて HDOP は急激に減少する。よって、測位時間が 100 秒までは、長くなるにつれて測位精度が良くなり、測位可能地域が増加する。更に、測位時間が 100 秒より長くなると、HDOP はほとんど変化しなくなるために、測位精度は良くならない。それと同時に、測位時間が長くなると衛星が 2 度見える地域が減少する。その結果、衛星高度が 1,000 km の場合は測位時間の最適値が 100 秒付近になると考えられる。

つぎに、衛星のカバレッジ内で測位可能地域がどのように広がっているかを求めた。その結果を図 5 に示す。

この図では、2 回の測距を行ったときの、衛星の位置が赤道面に対して対称となる場合の測位可能地域である。従って、設定した衛星の位置および HDOP に関して幾何学的対称性のために、測位可能地域の緯度および経度の負の部分は省略した。図 5 で、基地局が衛星の軌道面から離れるにつれて、測位可能地域は衛星の

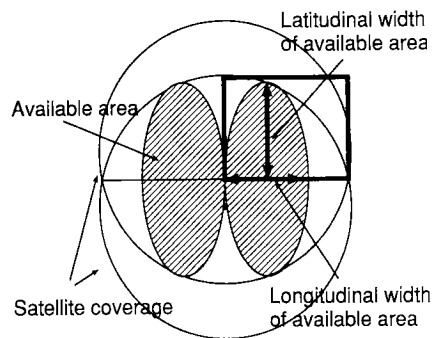


図6 測位可能地域の概念図

Fig. 6 Image of available area.

カバレッジの境界に向かって広がっていく。一方、衛星軌道の直下点の測位不能となる地域は大きくなる。これは、電離層、対流圏による電波の伝搬遅延が地上からみた衛星の仰角により変化するからである。すなわち、基地局からと移動体からみた衛星の仰角の差が大きくなると、基地局で得られた補正値の誤差も大きくなる。従って、基地局の位置が衛星の軌道面から離れるにつれて、補正値の誤差は衛星のカバレッジの境界付近で減少し、衛星軌道の真下付近で増加すると考えられる。しかし、図 4 から、基準局の位置が変化しても、測位可能地域に与える影響は小さいことがわかる。測位可能地域についての理解を助けるために、その概念図を図 6 に示す。

図中の衛星のカバレッジは、それぞれ1度目と2度目に測距を行ったときの衛星の位置のカバレッジを示している。斜線で示した地域が、実際の測位可能地域である。図5で示された地域は、図6の太い四角で囲んだ地域である。極軌道上を周回する衛星は経度線と平行に移動するので、それに従って、測位可能地域も経度線と平行に移動する。これは、図6において測位可能地域が上下方向に移動することを示している。このことを考慮すると、測位可能地域の経度方向の幅が緯度方向の幅より重要な意味をもつことがわかる。例えば、測位可能地域の経度方向の幅よりも内側にいる移動体は、ある時間経過した後は測位が可能になる。それに対して、測位可能地域の経度方向の幅よりも外側にいる移動体は測位ができないということが起こるからである。そして図5から、測位可能地域の経度方向の幅は、基地局の位置が変化しても、ほとんど変化せず、衛星のカバレッジに対して、十分な広さをもつことがわかる。このように、衛星高度1,000 kmの場合、測位時間を100秒に設定することにより、測位可能地域は最も広くなり、 $3 \times 10^6 \text{ km}^2$ の広さを得ることができる。これは、衛星のカバレッジの65%に相当する。

5. 衛星高度に対する考察

これまで、衛星高度が1,000 kmの場合について提案方式の特性を求めた。他の高度で特性がどうなるかの見通しを得るため、衛星高度が200 kmから10,000 kmまでの範囲における測位可能地域の特性を求め

る。測位誤差の許容値は100 mとした。その結果を図7に示す。

図中のパラメータは、測位時間が60, 100, 400秒の場合である。衛星高度が1,000 km以下では、測位時間60, 100秒の場合の方が、400秒の場合より、測位可能地域が広がっている。しかし、1,000 kmを超えると、測位時間400秒の方が測位可能地域は広がる。衛星高度が低いと、衛星のカバレッジが狭いために、移動体から衛星が長時間見える地域が小さい。そのために、測位時間が長くなると、測位可能地域は小さくなる。しかし、衛星高度が高くなるにつれ、衛星が長時間見える地域が広がると、測位精度は測位時間が長い程高くなるので、測位時間400秒のときの測位可能地域の方が広がる。

また、測位時間がいずれの場合も、衛星高度が高くなるほど測位可能地域が広がるが、ある高度以上では増加しなくなる。これは、衛星高度が高くなると衛星のカバレッジが広がり、また移動体からと基地局から見た衛星の仰角の差が小さくなるために、補正値の有効範囲が広がり、測位可能地域が広がる。しかし、それと同時に、同じ測位時間では移動体から見た衛星の移動距離が小さくなり、HDOPが大きくなる。その結果、提案方式では、衛星高度がある程度高くなると、測位可能地域が、増加しなくなると考えられる。

衛星高度が変化すると測位可能地域だけでなく、衛星のカバレッジ、すなわち通信が可能となるエリアも変化する。そこで、衛星のカバレッジに対する、測位

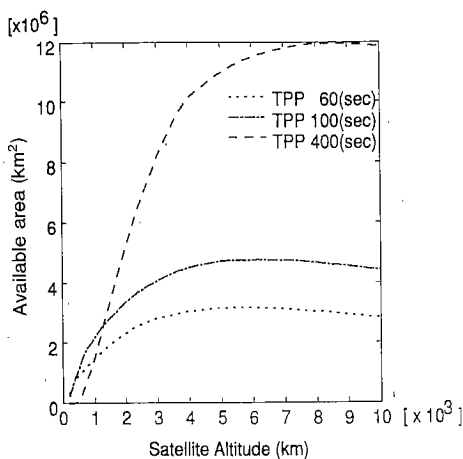


図7 衛星高度と測位可能地域の面積の関係
Fig. 7 Available area versus satellite altitude.

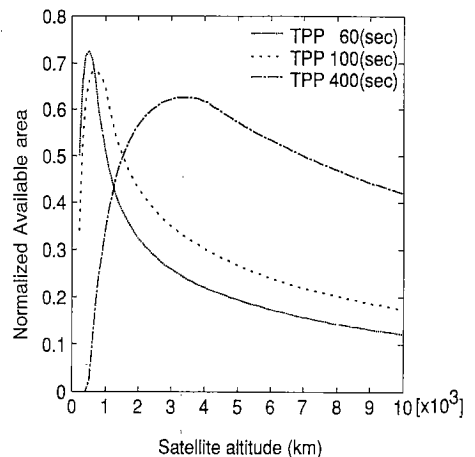


図8 衛星高度と正規化測位可能地域の関係
Fig. 8 Available area normalized by satellite coverage versus satellite altitude.

可能地域の占める割合、すなわち衛星カバレッジで正規化した測位可能地域を衛星高度の関数として求めた。その結果を図8に示す。

図中のパラメータは、測位時間で60, 100, 400秒である。図8から、測位時間がいずれの場合も、測位時間に応じて正規化測位可能地域が最大となる高度がある。これは、図7から、衛星が高くなると測位可能地域は増加するために、測位可能地域の占める割合は高くなるが、衛星高度がある程度高くなると測位可能地域はあまり増加しなくなるのに対し、衛星のカバレッジは広がっていくために割合は減少すると考えられる。本論文では、衛星通信システムに測位機能を統合することを考えているので、測位可能地域が衛星のカバレッジ全体に広がっている方が望ましいので、測位時間が100秒の場合は、衛星高度は1,000km付近がよいことがわかる。

6. 測位誤差の許容値に関する考察

これまで、測位誤差の許容値を100mとして、特性を求めた。ここでは、測位誤差の許容値を500mまで緩和したとき、測位可能地域がどのように変化するかを求める。この場合の測位可能地域の面積を測位時間が変化した場合について求め、その結果を図9に示す。ここで、衛星高度は1,000kmとしている。

図9で、基地局の位置は図4, 図5の場合と同じである。この図から、測位可能地域の面積は測位時間が40

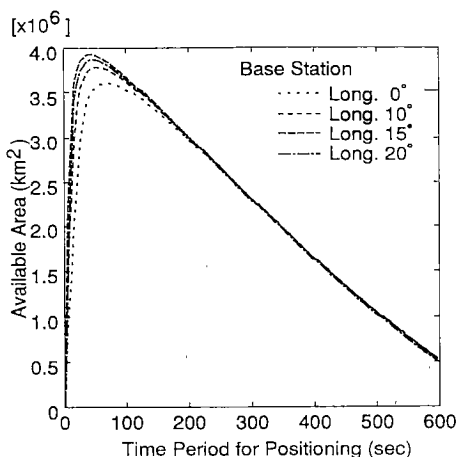


図9 測位時間と測位可能地域の面積の関係 (許容誤差 500 m)

Fig. 9 Available area versus time period for positioning (tolerable error of 500 m).

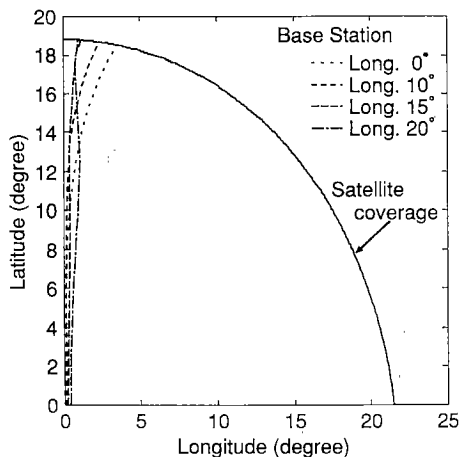


図10 測位可能地域 (許容誤差 500 m)

Fig. 10 Available area (tolerable error of 500 m).

秒付近のときに最大となっている。測位誤差の許容値を500mにすると、測位時間が40秒付近で、衛星のカバレッジの大部分で測位ができるようになり、測位時間が40秒より大きくなると、衛星が2度見える地域が小さくなるために、測位可能地域は減少する。その結果、衛星高度が1,000kmの場合で、測位誤差の許容値を500mとしたときは、測位時間の最適値が40秒となる。

つぎに、衛星のカバレッジ内で、測位可能地域がどのように広がっているかを求めた。その結果を図10に示す。図10から、基地局の位置が変化しても、測位可能地域はほとんど変化しないことがわかる。提案方式では、衛星のカバレッジの大部分で測位が可能となり、測位可能地域の経度方向の幅は、0°近辺から22°となっている。測位誤差の許容値を大きくすると、最適な測位時間が短くなる。かつ、基地局の位置の変化が測位可能地域に与える影響が小さくなる。

7. むすび

本論文では、測位機能を非静止衛星を用いた移動体通信システムへ統合することを目的として、単一の非静止衛星しか見えない状況でも動作する測位方式を提案した。提案方式の特徴を以下に示す。

(1) 移動体衛星通信システムに対して、最小限の変更だけで測位機能を統合することができる。

(2) 各移動体には測位のための機器の追加をほとんど必要としない。これによって低コストの測位が期待できる。

(3) 移動体の位置決定は衛星通信システムの基地局が行うので、ポジションレポーターシステムが容易に実現可能である。

(4) 提案方式はディファレンシャル方式を組み合わせているが、基準局の機能を移動体衛星通信システムの基地局に組み込むことにより、新たに基準局を作る必要がないし、誤差補正信号を伝送する必要がない。

つぎに、提案方式の特性を明らかにした。まず、測位時間に対する HDOP 特性を求めた。その結果、衛星高度が 1,000 km の場合、測位時間は 100 秒付近にとることがよいとわかった。

つぎに、測位可能地域を定義して、測位可能地域の面積とその範囲を求めた。まず、測位時間を変えた場合の測位可能地域の面積を計算し、測位時間が 100 秒付近のときに、その面積が最大になる。そして、衛星軌道に対する基地局の位置が変化しても、測位可能地域に与える影響は小さいことがわかった。

他の衛星高度における測位可能地域の面積、およびそれが衛星のカバレッジに対して占める割合を求めた。その結果、衛星高度を高くするにつれて測位可能地域は大きくなるが、衛星のカバレッジに占める割合は測位時間に応じて最大となる高度があることがわかった。

2. で述べたように、単一衛星を用いて測位を行う方式には、ドップラーシフトを測定することにより測位を行う方式がある。この測位方式を用いたシステムには、以前から運用されている、NNSS (Navy Navigation Satellite System)^{(5),(6)} がある。提案方式の特性を NNSS の標準的な特性と比較する。NNSS の測位誤差の許容値は 500 m 程度⁽⁵⁾ であると言われている。提案方式では、測位誤差の許容値を 500 m にした場合、測位時間は 40 秒付近が最適となる。NNSS では測位に約 400 秒要するので、提案方式は NNSS の 10 分の 1 の時間が最適な測位時間となる。測位可能地域の経度方向の幅について比較すると、提案方式では 0° 近辺から 22° となり、衛星のカバレッジに対しほとんどの地域で測位可能となる。それに対し、NNSS では 2° から 18°⁽⁶⁾ であると言われている。従って、衛星高度 1,000 km の場合、提案方式は最適な測位時間、測位可能地域という点で比較して、ドップラーシフトをもとにした測位方式より優れていると言える。

文 献

- (1) Comparetto G. M.: "Global Mobile Satellite Communications: A Review of Three Contenders", AIAA-94-

1138-CP (1994).

- (2) Deckett M.: "Orbcomm-A Description and status of the LEO Satellite Mobile Data Communication System", AIAA-94-1135-CP (1994).
- (3) 日本測地学会: "GPS", 日本測量協会.
- (4) 森川榮久, 木村和宏, 三浦 龍, 若菜弘充, 大森信吾, 松本泰, 若尾正義: "二つの静止衛星を用いた通信・測位複合システム", 信学論 (B-II), **J76-B-II**, 9, pp. 735-745 (1993-09).
- (5) 木村小一: "衛星航法", 海文堂.
- (6) Ogawa T., Maeno H. and Aikyo K.: "Polar Ionospheric Disturbance Effects on NNSS Satellite Positioning", IEEE Trans. Aerosp & Electron Syst., **24**, No. 4 (July 1988).
- (7) 横井時彦: "単一静止衛星を用いた移動体測位方式の提案", 信学技報, **SANE 89-25** (1989).
- (8) 長谷川武司, 前田裕幸, 小川 明: "周回衛星を用いた通信測位統合システムにおける測位誤差の検討", 信学技報, **SAT 90-5** (1990).
- (9) Enge P. K., Kalafus R. M. and Ruane M. F.: "Differential Operation of the Global Positioning System", IEEE Commun. Mag., **26**, No. 7 pp. 48-60 (July 1988).
- (10) Brown A.: "Extended Differential GPS", Navigation, **36**, No. 3 pp. 265-285 (1989).
- (11) Yabumoto Y., Katayama M., Yamazato T. and Ogawa A.: "Differential Positioning with a Single Satellite", Proc. of VNIS '94, pp. 579-584 (1994).

(平成 6 年 9 月 9 日受付, 6 年 12 月 23 日再受付)



藪本 康之

平 5 名大・工・電気卒, 平 7 同大大学院修士課程了, 同年日本電信電話(株)入社。これまでに、衛星を用いた測位方式に関する研究に従事。



片山 正昭

昭 56 阪大・工・通信卒, 昭 61 同大大学院博士課程了, 同年豊橋技科大助手。平元阪大・大型計算機センター・講師。平 4 名大・工・電子情報・講師, 平 5 同大助教授, 現在に至る。衛星通信/測位, スペクトル拡散通信, 変復調理論, 雑音理論, トラヒック理論および計算機ネットワークなどの研究に従事。工博, 昭 61 本会篠原記念学術奨励賞受賞, 情報処理学会, 情報理論とその応用学会, IEEE 各会員。



山里 敬也

昭63信州大・工・電気卒。平2同大学院修士課程了。平5慶大大学院博士課程了。同年名大助手。現在に至る。符号化変調方式、衛星通信/測位、通信理論等に関する研究に従事。工博。情報理論とその応用学会、IEEE各会員。



小川 明

昭35名大・工・電気卒。同年国際電信電話(株)入社。同社研究所勤務を経て、昭63名古屋大学に移る。この間、デジタル通信方式、衛星通信、移動体通信等に関する研究開発に従事。現在、名大・工・教授。工博。情報理論とその応用学会、IEEE各

員。