



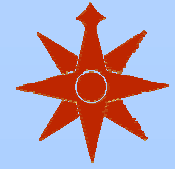
船舶航行におけるアンビギュイティ 決定の高速化について

Falin WU、久保信明、安田明生
東京商船大学



概要

- ワイドレーンを利用したアンビギュイティ決定
- アンビギュイティ決定の高速化
- 海上船舶実験におけるテスト
- まとめ



測位に用いる観測量

搬送波位相(単位はサイクル)

$$\phi = \lambda^{-1}[r - I + T] + f(\delta t_u - \delta t^s) + N + \varepsilon_\phi$$

2重位相差(単位はサイクル): 基準局と移動局で2つの衛星が利用できれば、上の搬送波位相の式が4つできる。その4つから2重位相差を作る

$$\phi_{ur}^{(kl)} = (\phi_u^{(k)} - \phi_r^{(k)}) - (\phi_u^{(l)} - \phi_r^{(l)})$$

uとrはユーザ局及びreference局、kとlは2つの衛星を示す

つづき



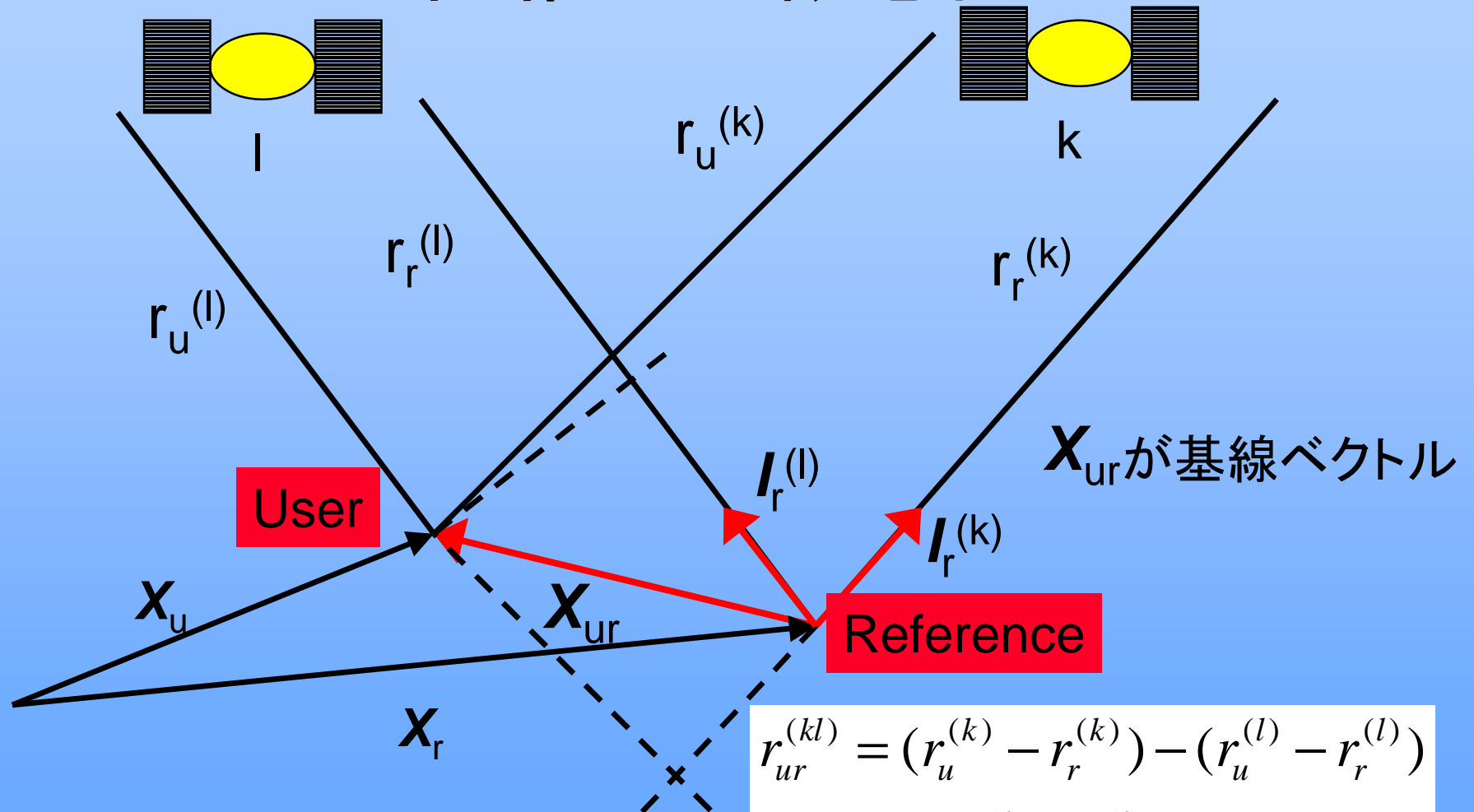
$$\begin{aligned}\phi_{ur}^{(kl)} &= \lambda^{-1}[r_u^k - I_u^k + T_u^k] + f(\delta t_u - \delta t^k) + N_u^k + \varepsilon_{\phi_u}^k \\ &\quad - \lambda^{-1}[r_r^k - I_r^k + T_r^k] - f(\delta t_r - \delta t^k) - N_r^k - \varepsilon_{\phi_r}^k \\ &\quad - \lambda^{-1}[r_u^l - I_u^l + T_u^l] - f(\delta t_u - \delta t^l) - N_u^l - \varepsilon_{\phi_u}^l \\ &\quad + \lambda^{-1}[r_r^l - I_r^l + T_r^l] + f(\delta t_r - \delta t^l) + N_r^l + \varepsilon_{\phi_r}^l\end{aligned}$$

上の展開された式より、受信機と衛星の時計誤差が完全に消去される。また電離層と対流圏の遅延量を基準局と移動局でほぼ同じであると仮定(10km未満)すると

$$\phi_{ur}^{(kl)} = \lambda^{-1} r_{ur}^{(kl)} + N_{ur}^{(kl)} + \varepsilon_{\phi,ur}^{(kl)}$$



2重位相差の概念図



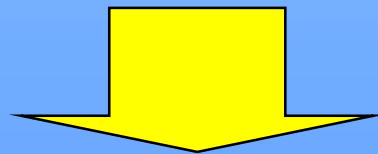
$$\begin{aligned}
 r_{ur}^{(kl)} &= (r_u^{(k)} - r_r^{(k)}) - (r_u^{(l)} - r_r^{(l)}) \\
 &= -(\mathbf{l}_r^{(k)} - \mathbf{l}_r^{(l)}) \cdot \mathbf{x}_{ur}
 \end{aligned}$$

位置を算出する観測方程式



$$\begin{bmatrix} \phi_{ur}^{(21)} \\ \phi_{ur}^{(31)} \\ \phi_{ur}^{(41)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(\mathbf{l}_r^{(2)} - \mathbf{l}_r^{(1)})^T \\ -(\mathbf{l}_r^{(3)} - \mathbf{l}_r^{(1)})^T \\ -(\mathbf{l}_r^{(4)} - \mathbf{l}_r^{(1)})^T \end{bmatrix} \mathbf{x}_{ur} + \begin{bmatrix} N_{ur}^{(21)} \\ N_{ur}^{(31)} \\ N_{ur}^{(41)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{\phi,ur}^{(21)} \\ \varepsilon_{\phi,ur}^{(31)} \\ \varepsilon_{\phi,ur}^{(41)} \end{bmatrix}$$

上式より、整数値バイアス値が3つ求まれば、自動的に基線ベクトルが求まり、ユーザの位置が求まることになる。最小二乗法を用いる。



ワイドレーンを用いてまずバイアスを求め、さらにL1のバイアスを決定

コードを利用した整数値バイアス 候補の絞り込み



まず、ワイドレーンによる2重位相差を求め、次にコードによる2重位相差を求める。コードによる2重位相差はノイズが大きい
がバイアスはもたないため86cm程度の目盛りがあれば、
±2の範囲に十分解があると推定される。

$$\phi_{wide,ur}^{(21)} = \phi_{L1,ur}^{(21)} - \phi_{L2,ur}^{(21)}$$

$$N_{ur}^{(21)} = \left[\phi_{wide,ur}^{(21)} - \frac{\rho_{L1,ur}^{(21)}}{\lambda_{L12}} \right]_{roundoff}$$

同様に $N_{ur}^{(31)}$ 、 $N_{ur}^{(41)}$ も計算

次に、求めた整数値バイアスの候補(125通り)のうち、どの候補が最も確からしいかを、
検定等を利用して求める

アンビギュイティ決定方法



- 今までに使用した衛星は主衛星の4個なので、残りの従衛星に、125通りの整数値バイアスを適用しその残差によるチェック。正しい整数値バイアスで計算すると残差は小さくなる。
- コードDGPSで算出された水平位置と、125通りの整数値バイアスから計算された水平位置の差によるチェック。
- 海上の高度は30分程度であれば比較的安定しているので、高度方向の閾値を設けることによるチェック。⇒ アンビギュイティ決定の高速化

処理手順



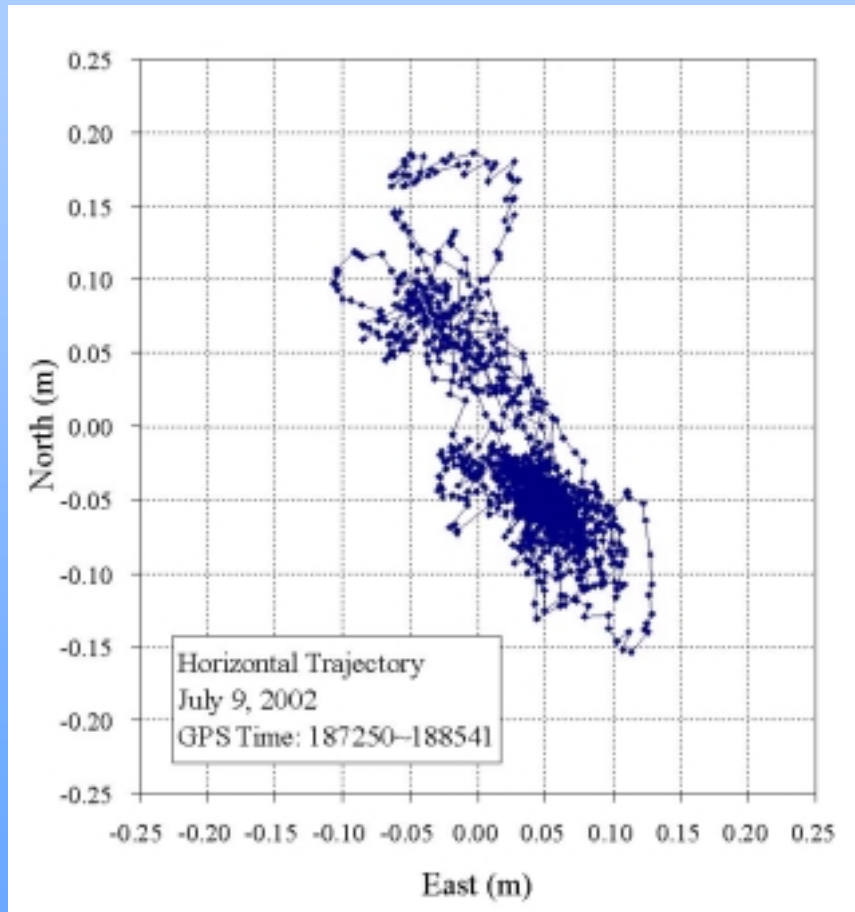
- 可視衛星を主衛星(基準衛星+3衛星)と従衛星に分ける
- ワイドレーンを利用して探索空間を決定
- 探索空間内の整数値バイアス候補において、従衛星の検定及び水平方向位置誤差(コードDGPSとの)を利用し、確からしい整数値バイアスの絞り込み
- さらに高度情報で整数値バイアスを絞り込み
- アンビギュイティの候補が1つになった時点で、L1のアンビギュイティを求め位置を算出
- 主衛星にサイクルスリップが起きた時点で主衛星を再選択

海上船舶実験データによるテスト



- 東京商船大学ーレインボークブリッジ間(約3.6km)をやよいで航行したときに取得したデータを利用。データは約40分間を使用。4つの橋が存在。
- 使用受信機は基準局、移動局ともにノバテル社製OEM-4とGPS600アンテナ。基準局は研究室塔の屋上に設置。移動局はやよいに設置。
- 並行して他のメーカーのGPS受信機を用いてVRSの実験を行う。

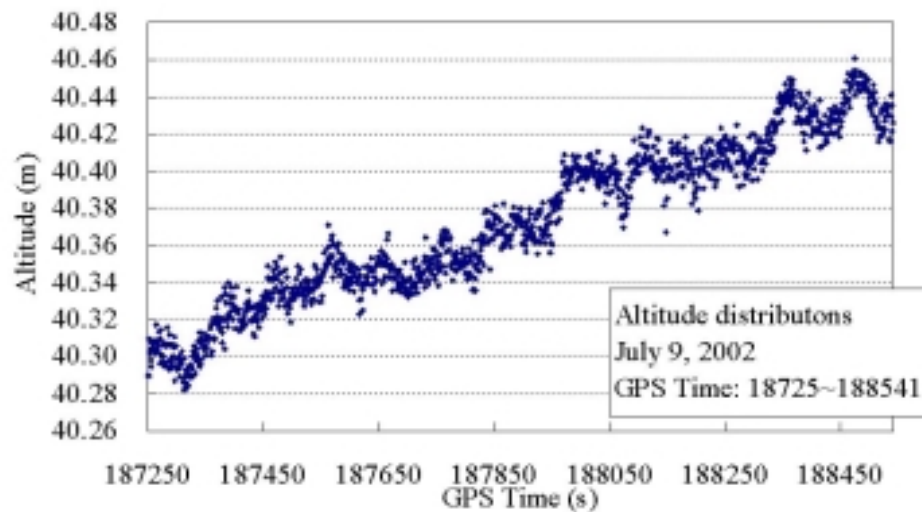
テスト結果 (やよい停止時の水平方向変化)



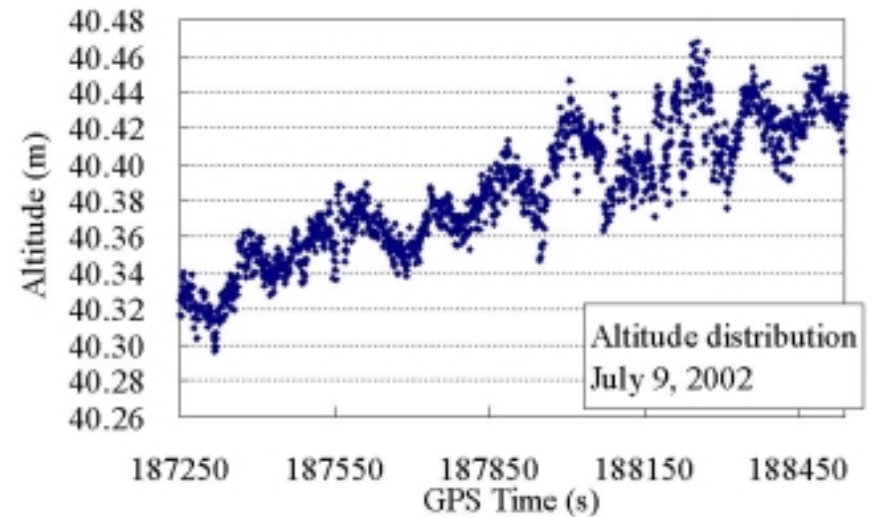
場所: 東京商船大学の波止場
解析時間: 約20分間
衛星数: 8個程度
基線長: 約100m



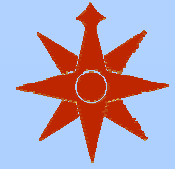
やよい停止時の高度方向変化 (VRSと比較)



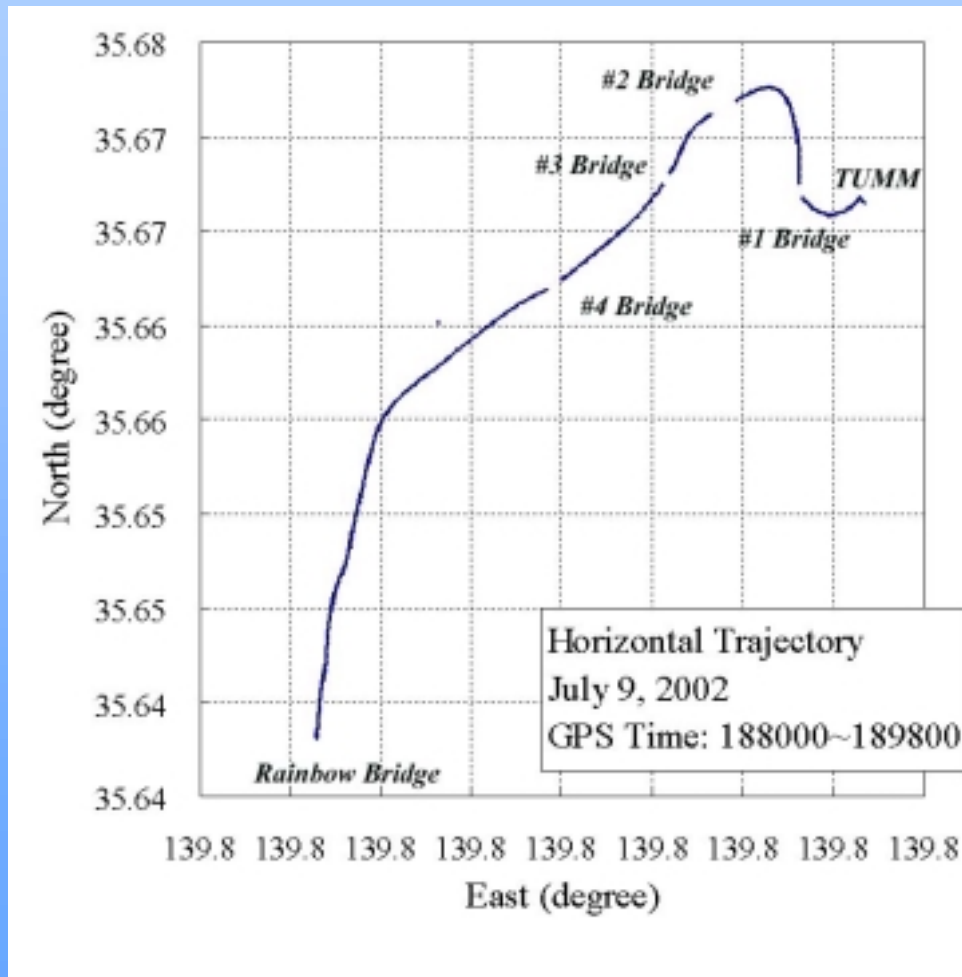
Marine-RTK(本ソフト)



Marine-VRS



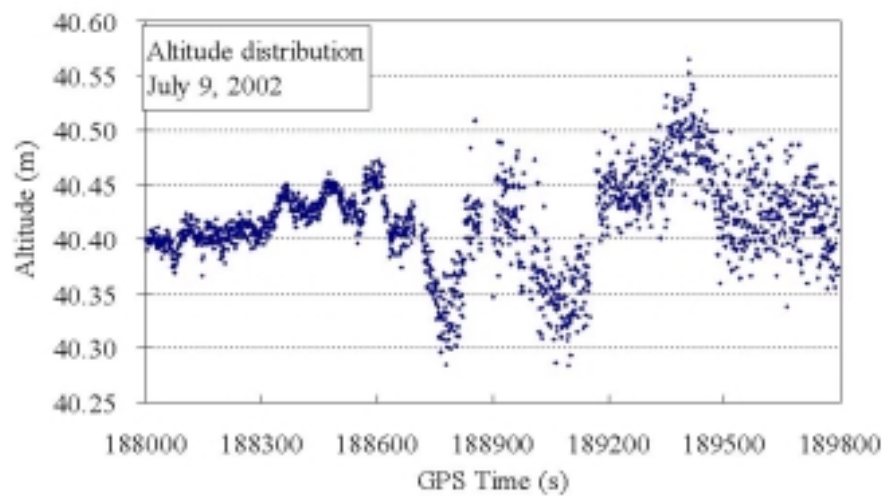
航行中の水平方向変化



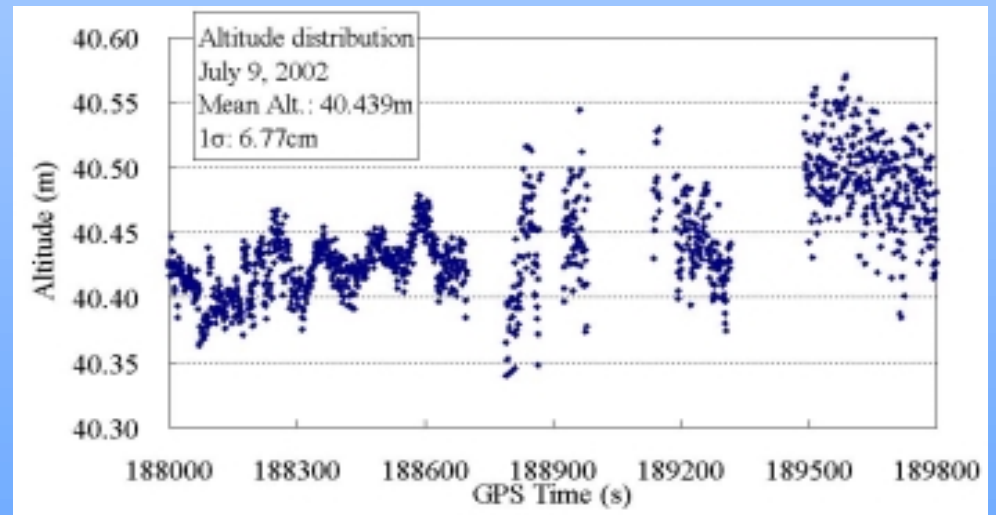
商船大学とレインボーブリッジの距離は約3.6km。
ゆえに基線長も最大で約3.6km。
解析時間: 約30分



航行中の高度方向変化 (VRSとの比較)



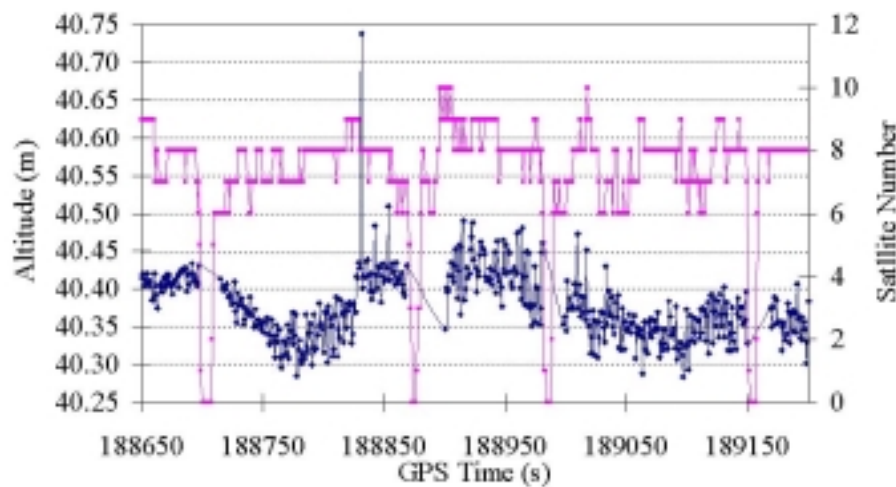
Marine RTK(本ソフト)



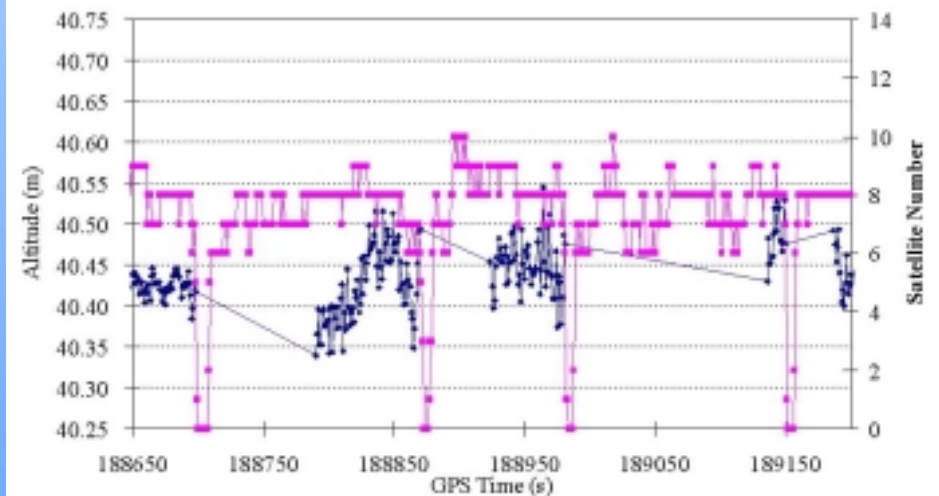
Marine VRS



4つの橋下を航行時の高度方向変化 (VRSとの比較)



Marine-RTK(本ソフト)



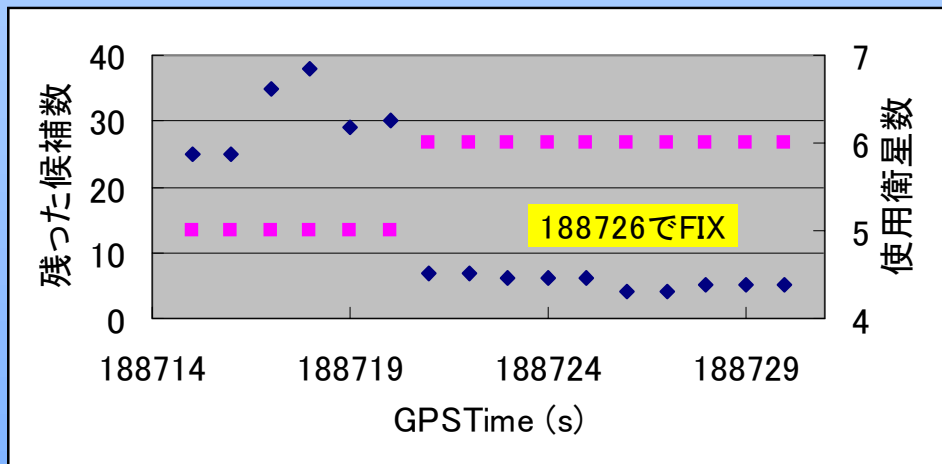
Marine-VRS

橋下通過時のFIXまでの時間(秒)

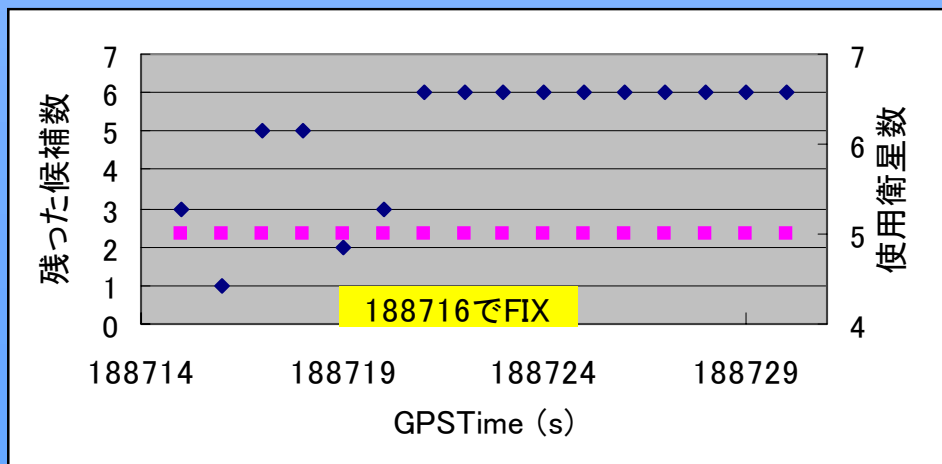


	橋情報	1つ目	2つ目	3つ目	4つ目
本ソフト	高度情報付加	1	6	1	1
	高度情報なし	11	11	24	1
VRS (NovAtel)		75	35	138	18
VRS (Ashtech)		35	16	18	20
VRS (Leica)		19	32	23	18

1つ目の橋通過後、FIXに至る 整数値バイアス候補数の変化 (高度情報ありなしでの比較)



従衛星による検定のみで
高度情報なし



従衛星による検定＋
高度情報

30分間の航行中におけるFIXして



いた時間の割合 (橋下の時間も含む)

		パーセンテージ
本ソフト	高度情報付加	97.5%
	高度情報なし	95.3%
VRS (NovAtel)		81.2%
VRS (Ashtech)		90.6%
VRS (Leica)		92.1%

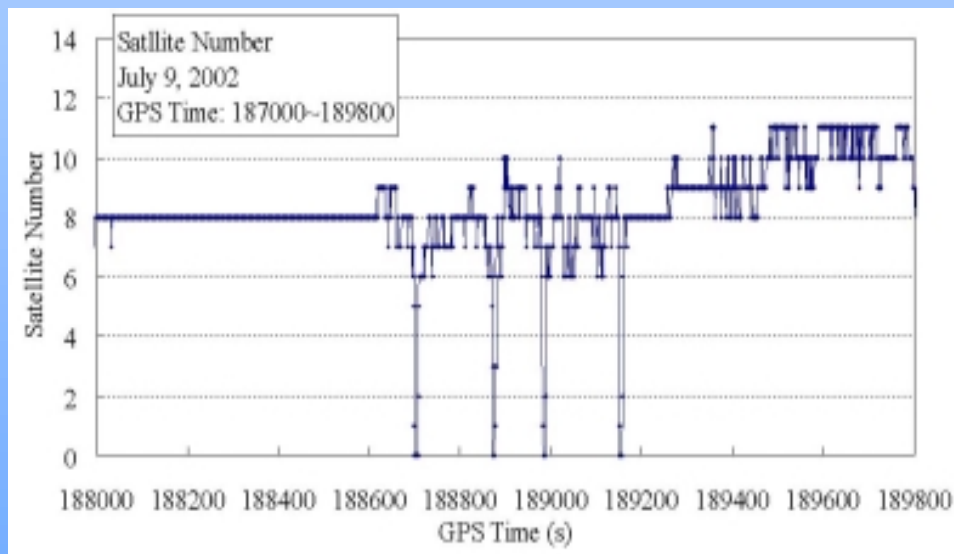
1800×0.025
=45秒
橋下通過時間
 $4 \times \text{約}8 \sim 10 \text{秒}$
=32秒~40秒



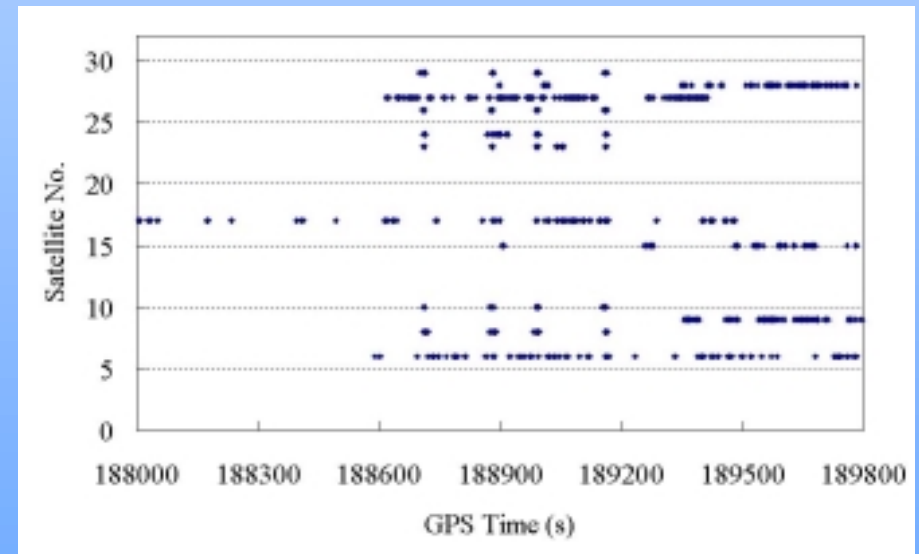
まとめと今後の課題

- 高度情報を利用することによる、高速アンビギュイティ決定のソフトを作り、実際の航行データを用いたテストにおいて良好な結果が得られた。
- 基線長がさらに伸びる場合(10km以上)に、電離層等の影響を考慮できるものにする必要がある。
- よりロバストなソフトへの改良(サイクルスリップ対策、従衛星が少ない時の対策等)
- アンビギュイティ解のValidationの強化

商船大学からレインボーブリッジ までの航行時 (衛星数とサイクルスリップ)

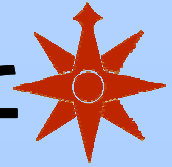


衛星数変化



サイクルスリップの起きた衛星

高度情報あり/なし時、FIXまで残った 整数値バイアス候補数の比較



188715	99	1	10	14	15	18	19	20	24
188716	99	1	10	14	15	18	19	20	23
188717	89	1	10	14	15	18	19	20	30
188718	86	1	5	9	10	13	14	15	18
188719	95	1	5	9	10	13	14	15	17
188720	94	1	5	9	10	13	14	15	17
188721	117	1	10	13	34	39	42	68	
188722	117	1	10	13	34	39	42	68	
188723	118	1	10	34	39	60	68		
188724	118	1	10	34	39	60	68		
188725	118	1	10	34	39	60	68		
188726	120	1	34	37	60				
188727	120	1	34	37	60				
188728	119	1	10	34	37	60			
188729	119	1	14	34	37	60			
188730	119	1	14	34	37	60			

従衛星による
検定のみで
高度情報なし

188715	121	1	30	60			
188716	123	1					
188717	119	1	30	60	90	93	
188718	119	1	30	60	90	93	
188719	122	1	66				
188720	121	1	33	66			

従衛星による検定
+ 高度情報チェック