

センサ情報収集・解析システム（購入年度：2009年度）

情報科学科 小口喜美夫, 栗林伸一, 滝沢 誠, 村上仁己

1. まえがき

「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」の枠組みで採択されたプロジェクト「人と環境に優しい統合化された社会システム研究基盤整備，ユビキタス環境構築による環境問題ソリューション」(2008-2012年)で購入したセンサ情報収集・解析システムについて、このシステムの概要と、これまで得られた具体的な実験結果を紹介する。

ユビキタス社会の情報システムは、コンピュータのみならず家電製品、携帯電話で代表される移動端末、センサー等が、有線、無線等の種々なネットワークで相互接続された大規模な分散システムとなる。これまでのシステムでは、計算時間、メモリサイズ、メッセージ数、帯域等のコンピュータとネットワーク資源利用を最小化するように種々のアルゴリズム、実装方法、管理方式が研究されてきている。これに対して、石油価格高騰、地球規模の環境問題により、あらゆるシステムで消費エネルギーを最小化する新しいアーキテクチャ、アルゴリズム、実装方法が求められてきている。本研究では、種々のセンサおよび情報機器から構成される大規模な分散システムを対象として、機器の電力消費を減少させる方式を研究することを目的としている。位置情報・場所情報に基づいた無線センサー・ノードとアクタ・ノード、ネットワーク選択、センサー情報格納方式に着目し、ここでの電力消費を減少させる方式について研究する。この研究目的を実施するため、本センサ情報収集・解析システムを購入した。

2. 全体構成

まず、ユビキタス社会を構成する基本要素となるセンサーとアクタの無線ネットワークを対象とする。センサー・ノードは、保持しているバッテリーが小容量であることから、強い電波を出せず、感知したデータをセンサー・ノード間の中継により、アクタまで届けねばならない。データを受信した全てのセンサーが、データを中継

し放送すれば、送信されるメッセージは爆発的に増大し、メッセージ間の衝突も増大するとともに、動作するセンサー・ノードでの電力消費が増大する。このために、必要なセンサー・ノードのみがデータを中継する方式について研究する必要がある。また、誤動作をするセンサー、感知されたデータの誤差等の故障に対して、アクタが最終的に正しい動作(action)を実行できるフォールト・トレラントな多重化方式の開発も必須である。

そこで、今後のユビキタスの基本情報となる、人間の動作にかかわる Context awareness 情報を取得するための画像情報取得装置および空間情報取得装置、これらのセンサ情報が関連するネットワークの使用状態に応じて、最適なネットワークを選択するユビキタス情報解析装置、またこれらセンサー情報を格納し、目的に応じて情報提供するデータセンタのサーバ類を、電力効率化の立場から動作制御させるユビキタス管理装置、を準備し実験環境での実験を行っている。以下、これらの主要機能について紹介する。

3. 画像情報取得装置（担当：小口）

この装置は、アートレイ社遠赤外線温度監視カメラ (ARTCAM-640-THERMO) からなる。主な仕様を表1に示す。

表1 ARTCAM-640-THERMO の仕様

センサ	非冷却マイクロボロメータ
フレームレート	30f/s
有効画素数	640 x 480
検出波長	8-14um
出力	14 bit
インタフェース	1000BASE-T

一般に、熱を有する物体はその温度により赤外 (IR: Infra-Red) から遠赤外 (FIR: Far Infra-Red) にわたる波長領域の光を発している。例えば、温度 300K (27℃) の

物体は、波長約 10 μm を中心とした遠赤外光を発しているため、この光を検出することにより物体の位置や温度変化を検出可能となる。この装置は、上記仕様のよう波長 8-14 μm の光を検出できるため、たとえ夜間であっても人間の動作や人間の生活する環境情報（温度分布）を検出することが可能である。

遠赤外線温度監視カメラ（以下 FIR カメラ）を使った測定例を図 1 と図 2 に示す。



図 1 顔画像の測定例

図 1 は FIR カメラの正面 0.8m に座った人の顔面を撮影した FIR イメージである。ここでは表示される温度分布を 26.0-38.0 $^{\circ}\text{C}$ と設定している。このような画像イメージの応用例として、鼻部の呼気と吸気の温度の時間変化に着目することにより、センサを装着することなく呼吸数の観測が可能となる[1]。家庭にこのようなセンサを配備することにより、いわゆるホームヘルスケアシステムにおけるセンサ情報収集システムの実現につながる。基本的なアルゴリズム等は、文献[1]に記述されている。

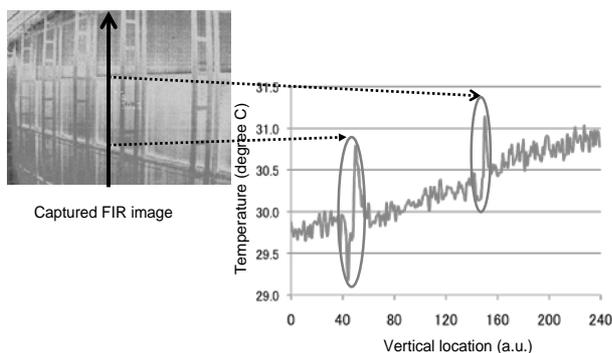


図 2 図書館ガラス面の温度分布測定例

人と環境に優しい空間づくりのために取得が必要と考えられる環境情報には、室内の温度・湿度・風速、また、外部の気温・天候・日照などがある。一般的には、それぞれの対象情報に関連するセンサを用いて情報収集する

センサネットワークを構築すれば十分であるが、今回実験対象として検討した本学大学図書館のような構造の場合、大規模なガラス窓に囲まれた開放型の空間（アトリウム）があり、この空間には上述のセンサ設置が困難となる。このため、新たに FIR カメラによる広範囲の温度取得の可能性を検討した。実験により FIR カメラの視野をアトリウムの壁面にセットすることにより、高さ方向の温度分布（図 2 に示す実験例では約 1.5 $^{\circ}\text{C}$ 差）を取得でき、多数の個別センサを設置しなくとも環境情報が取得可能なことが判明した[2]。以上の結果から、今後通常のセンサ群と FIR カメラを含むハイブリッド型のセンサネットワーク構成の検討をすすめる。

4. ユビキタス情報解析装置（担当：栗林）

この装置は、米国アニューシステムズ社製ネットワークエミュレータ装置（MSGEM-F1-B）とそれを制御する端末（ノート PC）からなる。ネットワークエミュレータは、パケット遅延、パケット廃棄、パケットフィルタリング機能、帯域設定、ポーリング機能など任意のネットワーク品質を疑似できる装置である。これら装置を用いた評価の 1 例として、ネットワーク品質劣化が MPEG4 映像ストリーミング配信のユーザ視聴品質に与える影響を評価するためのシステム概要を図 3、評価システムの装置構成を図 4 に示す。評価システムは、ネットワークエミュレータ装置（MSGEM-F1-B）、その制御端末、配信サーバ、クライアント端末から構成される。

評価システムを用いて、ユーザが許容できる視聴品質を提供するためのネットワーク品質劣化許容限界を評価した結果を図 5 に示す。ここでは、パケット廃棄（ランダム廃棄）とパケット遅延（一定）を考慮している。また、今回は、ITU-T 勧告 P.910 で規定されている DCR 法を簡易化した手法を用いて 5 段階の主観評価を行い、その平均オピニオン評点値（DMOS 値）が 3 以上の領域を許容範囲とした。

ネットワーク品質を監視することにより、劣化許容限界になる前に回線帯域の増加、回線数の増加、他経路への迂回、などの対策を行うことによりユーザの視聴品質を確保することが可能となる。逆に、ネットワーク品質が十分に確保できている場合には、使用回線数の削減、一部経路のスリープ化などを実施し、ネットワーク全体の電力使用量の削減を図ることも可能となる。

これは、本受託研究の趣旨の 1 つである「ネットワークの使用状況に応じて最適なネットワークを選択する」を実現するための有力な手段の 1 つとなる。

5. ユビキタス情報管理装置（担当：滝沢）

5.1 システム構成

ユビキタス環境では、あらゆる情報をいつでもどこで



図3 映像ストリーミング配信のユーザ視聴品質の主観評価概要



図4 アニューシステム社製ネットワークエミュレータ(MSGEM-F1-B)を用いた評価システム構成

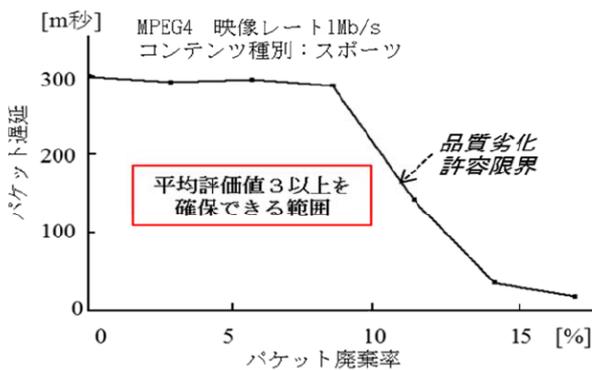


図5 ネットワーク品質劣化の許容限界例

も誰でも容易に利用できる。このためには、道路、建物、自動車、携帯電話、また人間等に装備されたセンサーから取得された種々のセンサー情報を蓄積し管理することが重要となる。このために、本プロジェクトで以下の装置を導入した。

A: ブレード・サーバ: Sun Fire X4440, Sun Blade X6250, Sun Blade X6240

B: ストレージ・サーバ: Sun Storage Tek 2500

ブレード・サーバは、一つのラックユニット内の複数のブレードと呼ばれるサーバ・モジュールから構成されている。一つのブレードは一台にサーバの機能を有している。複数台のサーバを独立に設置することに対して、スペース、消費電力を低減でき、ディスク等の計算資源の共有とシステム全体の管理を容易にするものである。本ブレードは、サンマイクロ社（現、Oracle）製で、以下の5台のブレードから構成されている。

- ① インテル社のCPU “Intel® xeon® E5420”と4GBの主記憶、146GBのディスクを備えたブレード Sun Blade X6250 2台(Apollo, Juno)。
- ② AMD社のCPU Quad-core AMD Opteron™, 8GBの主記憶、146GBのディスクを備えたブレード Sun Blade X6240 3台(Titan, Venus, ***).

OSはLinuxのCent OS, Ubuntuを用いている。ブレードJunoとVenusには、データベース管理システムSybaseをインストールし、データベース・サーバとして利用している。また、Titanは、ネットワーク・シミュレータNS2, NS3をインストールし、ネットワーク・プロトコルの性能解析等のシミュレーションに利用している。これらのサーバのディスクは、10,000回転の高速の***ディスクを用いている。さらに、RAID1により多重化し信頼性を高めている。

ストレージ・サーバは、Sun Micro社(現、Oracle)製の機器で、2TB × 7のディスク・ストレージから構成されている。研究室内のサーバ、PCから共有するストレージ・サーバである。ディスクの障害に対して、信頼性を向上させるために、RAID1の構成でディスクを二重化している。

これらのサーバ構成を図6に示す。これらのサーバは、研究室の他のサーバとGbpsのEthernet LANで相互接続されている。

また、研究室内のサーバ、PCの時計がより正確な時間を示すようにするために、タイムサーバTIMENETを用いている。タイムサーバは、GPSにより同期された正確な時計を備えている。研究室内のコンピュータは、タイムサーバとNTP(Network Time Protocol)により時間同期を行っている。

5. 2 省電力分散システム

これらのサーバを利用して、サーバコンピュータの消費電力測定を行い、電力消費モデルを構築した。エコ社会を実現するためには情報システムの電力を低減することが求められている。本研究では、実際のコンピュータ



← Power Connect3548(スイッチングハブ)48ポートの10/100BASE-Tと2ポートの1000BASE-Tを搭載

← Sun Storage Tek2500
2TBのハードディスクを7台搭載

← Sun Fire X4440 (高性能サーバ)デュアルコアCPUを4つ搭載

←Sun Blade server X6250,
SunBlade server X6240

←Blade server用UPS × 2

図6 サーバ構成

の消費電力を実測し、これから消費電力のモデルを構築する方法論を用いた。これらの電力測定はWatsup[図7]を用いて、一秒単位に測定し、サーバ内のデータベースに蓄積し解析を行った。

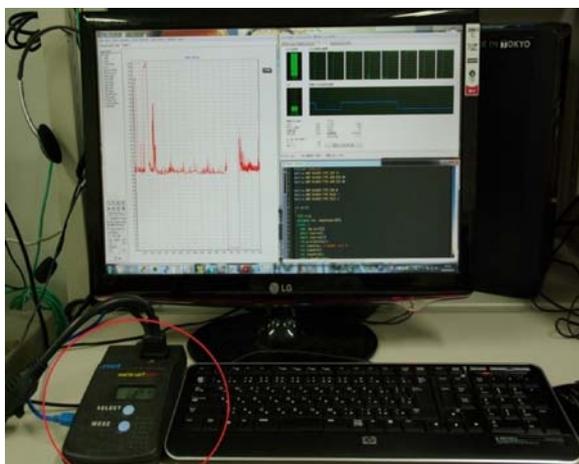


図7 電力測定

表2に、電力測定対象とするサーバ2台の仕様を示す。これらのサーバは、Web サービスを提供している。クライアントから、Web 要求が出されると、まず、要求されたWeb ページの写真等のマルチメディア・データを圧縮し、圧縮されたデータをクライアントに送信する。サーバは、マルチメディア・データを圧縮するためにCPU 資源を使う。これ以外の応用プロセスが動作していない環境でサーバの消費電力の測定を行った。

表2 サーバの仕様

	Server 1	Server 2	Server 3
Number of CPUs	1	1	2
Number of Cores	1	1	2
CPU	Intel Pentium	AMD Athron	AMD Opteron
	4(2.8GHz)	1648B(2.7GHz)	2216HE(2.7GHz)
Memory	1,024MB	4,096MB	4,096MB

測定結果を図8に示す。サーバ1と2では、消費電力は最大または最小の二値をとる。これから、一つ以上のプロセスが実行されているときには、実行されているプロセス数と無関係にサーバは最大電力を消費することがわかる。これに対してサーバ3では、消費電力は実行されるプロセス数に依存して、消費電力が変化していることが分かる。

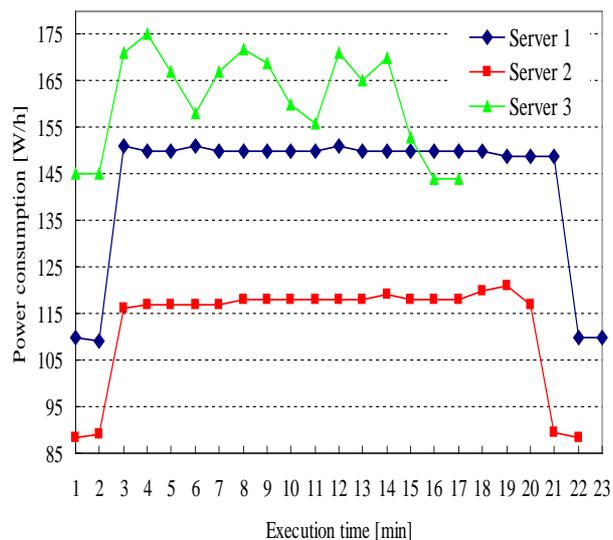


図8 サーバの消費電力

これらのことから、本研究により、次の二つの電力消費モデルを考案した[3-5]。

① 単純モデル(simple power consumption model)：サーバの消費電力は、最大と最小の二値を取る。一つ以上のプロセスが実行されているときに最大電力を消費し、一つもプロセスが実行されていないときは最低電力を消費する。

② 他レベルモデル(Multi-level model)：サーバの消費電力は、実行されるプロセス数に依存する。

単純モデルは、単一 CPU のパソコンのモデルである。これに対して、多レベル・モデルは複数 CPU を持つ高性能サーバのモデルである。

5. 3 まとめ

本研究により、ユビキタス社会を実現するために必要となる情報管理サーバを構築し、これを用いて実験を行った。ユビキタス社会では、膨大な数の情報機器が接続されることから、システム全体での省電力化が求められる。これまで、コンピュータ内の CPU、メモリ等の各機器についての省電力化が進められてきているが、応用プロセスを実際に実行させたときの消費電力のデータも少なくまたモデルもなかった。本研究では、サーバで応用プロセスを実行させたときの消費電力を実測し、この測定データをサーバに蓄積し解析を行った。この結果を抽象化したモデル、単純モデルと多レベル・モデルを新たに考案した。本モデルを用いて、各種のサービスに対するサーバの選択アルゴリズムの研究と評価を行っている。

6. 空間情報取得装置 (担当：村上)

6. 1 機能概要

この装置は、高精細 GPS 測定器 (Hemisphere 製 EGSet)、簡易 GPS 測定器 (Wintec 製 WB T202)、ガス検知装置 (日本シンテック製)、GPS 情報と紐づける画像カメラ (Sony Handycam, HDR-CX520V) および各種データ取得と処理用ノート PC 群 (NEC PC, LG 製ディスプレイ) からなる。これらの測定装置を用いたデータ取得の 1 例として、GPS の群特性測定の模様を図 9 に、GPS 端末の 1 例を表 1 に、取得データ結果とこれら解析結果を表 4、図 10 に示す。特に、本受託研究の趣旨の 1 つである、ユビキタス時代での移動端末、センサが群として動作するときの GPS 特性に関し、新しい知見を得ることができた。

表 3 簡易 GPS (Wintec 製, BT-202) の主要仕様

GPS チップ	u-blox 5
周波数	L1, 1575.42MHz
チャンネル数	32 チャンネル
位置精度	2.5m
インターフェース	Bluetooth & USB 2.0
更新レート	1Hz
ボーレート	57600 bps
対応 OS	Windows XP, Vista
動作時間	23 時間



図 9. 複数 GPS 端末を用いた GPS 群特性の測定模様

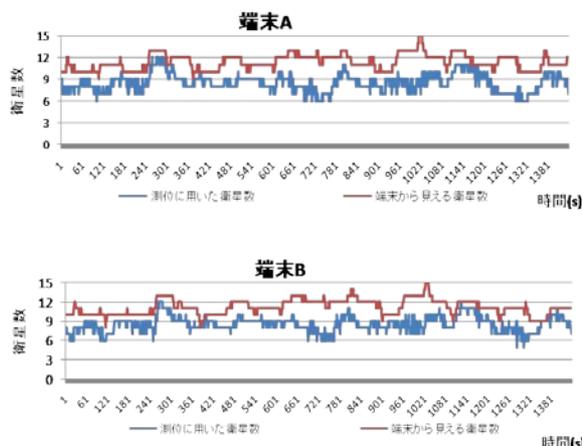


図 10 同じ場所に設置した GPS 端末から観察される GPS 衛星の数と測位に用いられた衛星数 (同一仕様の端末を同一場所で GPS 特性を測定しても、その結果に差異を生じるのが分かる)

表4 8台のGPS端末の誤差特性

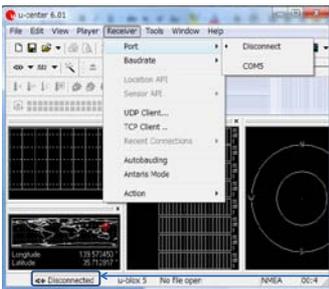
端末	A	B	C	D	E	F	G
平均誤差	2.45	1.88	1.83	1.62	2.63	2.30	1.93
最小誤差	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
最大誤差	65.87	35.09	43.92	39.39	50.60	45.11	29.36
分散	19.09	8.37	6.72	3.51	23.80	11.68	5.53
同期外れ(20m以上)	23	7	5	2	24	9	4

6. 2 Static Hold Thresholdの解除

一般的に携帯GPSロガーは、ユーザーが停止した時における地図上における軌跡のバラつきを防ぐため、閾値以下の速度を停止状態とみなして位置更新を凍結するフィルタがインストールされている。今回の実験においては、このフィルタ機能は不要である。以下、今回使用した携帯GPSロガーの内蔵チップ(u-blox5)のStatic Hold Thresholdと言うフィルタを解除する手順を以下説明する。

測位手順 1

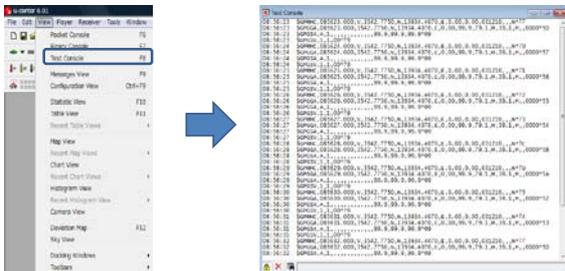
内蔵チップの開発元u-blox社が出している、GPS評価ソフトウェア「u-center」をu-blox社のホームページからダウンロード。



1.1 ReceiverメニューPortから各ロガーに対応するポート番号を選択。

1.2 接続が成功することを確認。

測位手順 2



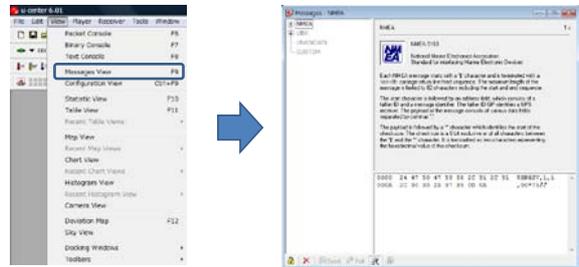
2.1 ViewメニューのText Consoleを選択、メニューを表示。設定変更前の測位計算周期などを確認。

測位手順 3



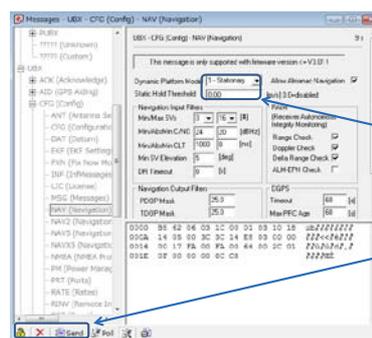
3.1 図の赤いボタンを押したらファイル名・保存先などを選択しデータのログを開始。

測位手順 4



4.1 左図ViewメニューのMessages Viewを選択、右図を表示。

測位手順 5



5.1 図の左にあるメニュー内のUBX->CFG->NAVを選択。

5.2 Dynamic Platform Modelを1-Stationary(定点観測用)にStatic Hold Thresholdを0.00(=OFF)に設定。

5.3 右下のSendを押し設定をロガーに送信してから、南京錠のマークを押して設定のロックをかける。

測位手順 6

6.1 図の左にあるメニュー内のUBX→CFG→NAV5を選択。

6.2 Dynamic Modelを2-Stationary(定点観測用)に、Static Hold Thresholdを0.00(=OFF)に設定。

6.3 右下のSendを押し設定をロガーに送信してから、南京錠のマークを押して設定のロックをかける。

社会システム研究基盤整備，「ユビキタス環境構築による環境問題ソリューション」で購入したセンサ情報収集・解析システムについて、概要と、これまで得られた具体的な実験結果を紹介した。

すでに、これらの装置を用いて、位置情報・場所情報に基づいた無線センサー・ノードとアクタ・ノード、ネットワーク選択、センサー情報格納方式、電力消費を減少させる方式について研究を進めている。その成果はすでに、国内外の学会で発表され[1-7]、この方面で先進的な成果として注目されている。

参考文献

- [1] T. Koide, S. Terada, D. Hanawa, and K. Oguchi, "Breathing detection by far infrared (FIR) imaging in a home healthcare system", ISMICT2009, Paper 3D02, Montreal, Canada, Feb. 2009.
- [2] D. Hanawa, H. Yamamoto, T. Koide, T. Shoji, K. Suzuki, S. Yamakawa, I. Watanabe, and K. Oguchi, "Sensor Network for Creating Comfortable Environment in University Libraries", J. of the Chinese Institute of Engineers, Vol.33, No.5, pp.645-652, 2010.
- [3] Tomoya Enokido, Ailixier Aikebaier, and Makoto Takizawa: A Model for Reducing Power Consumption in Peer-to-Peer Systems, IEEE Systems Journal, Vol.4, Issue.2, May 2010, pp.221-229.
- [4] Tomoya Enokido and Makoto Takizawa: Purpose-based Information Flow Control for Cyber Engineering, accepted at IEEE Transactions on Industrial Electronics (TIE), 2010.
- [5] Tomoya Enokido, Ailixier Aikebaier, and Makoto Takizawa: Process Allocation Algorithms for Saving Power Consumption in Peer-to-Peer Systems, accepted at IEEE Transactions on Industrial Electronics (TIE), 2010.
- [6] 高野真一, 平山哲也, 小高佑樹, 樋口政和, 村上仁己:「複数 GPS 端末間での利用衛星の変動と測位精度への影響」, 電子情報通信学会宇宙・航行エレクトロニクス研究会 2011年1月
- [7] 高野真一, 平山哲也, 小高佑樹, 樋口政和, 村上仁己: 複数 GPS 端末の誤差特性とその評価, 成蹊大学理工学研究報告, Vol.48(1), 2011.6

測位手順 7

7.1 図の左にあるメニュー内のUBX→CFG→RATEを選択。

7.2 Measurement Period(測位計算周期)を計測に合った周期に設定(今回は1分間に設定)。

7.3 右下のSendを押し設定をロガーに送信してから、南京錠のマークを押して設定のロックをかける。

測位手順 8

8.1 変更後の設定が反映されているかText Consoleで確認。

8.2 ログを終了し、u-centerを閉じる。

7. まとめ

「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」の枠組みで採択されたプロジェクト「人と環境に優しい統合化された