

OA0378 - 望遠鏡制御 - 1st. MTG

他望遠鏡の制御系サマリー

岡山新技術望遠鏡グループ / Atsushi Shimono

平成 22 年 4 月 6 日

目次

1	GTC - Gran Telescopio Canarias	1
1.1	概要	1
1.2	Overview	2
1.3	望遠鏡制御	7
2	すばる望遠鏡	8
2.1	一般的な要求	8
2.2	TCS - Telescope Control System	9
2.3	Gen2	9

京大の情報は、ソフトウェア工学の研究室はなくなったはず。京大でプログラム書く人って天才とか職人ばかりだから、ああいうアホにバグを作らせないためのシステムって思想として向かないのよね。— *Anonymous Professor*

1 GTC - Gran Telescopio Canarias

1.1 概要

(注: 2000 年前後のデザインノートしか見つけられていないので、それ以降に大幅な改変があった場合フォローできていない可能性あり。ただし、Abstract などからはほとんど大きなアーキテクチャ上の変更はない様子。cf. [10; 13] ¹)

GTC では、望遠鏡全体構造の設計において、どのように全体システムを最適化でき、どの部分がクリティカルなのかのモデル解析によるシミュレーション [4]、試験・構築段階を含めたユーザロール毎・システム毎の必要機能のリストおよびその優先順位・必要度合い・ターゲットの定義 [8] が行われている。

これらすべての制御システム設計には、オブジェクト思考設計言語である UML が利用されており、ほとんどの設計は UML ベースで記述 [3; 9] されている。また、システム全体にわたって、CORBA をベースにして [1; 2; 7; 12] システムを構築している。

¹GTC の SPIE 元論文のほとんどは入手できていない。一部内部ドキュメント ID を併記しているものはおそらく同じものと思われる文書。主に 1998-2003 年あたりのもの。

1.2 Overview

GTCの制御系²には、さまざまな要因 — 新しい技術の発展、制御系への要求の増大、新しい装置の開発、そしてバグ修正など — により継続した変更が加えられることが前提となっている。これらの変更は、GTCのプロジェクトやその可用性に対して、可能な限り小さな影響しか与えないようにしなければならない。これを実現するためには、技術的要求に見合ったフレームワークを採用する必要がある。

物理的にはGTCの制御系サブシステムはさまざまなワークステーションに分散しているため、それらを一つ以上のLANで接続したシステムを構築する必要がある。これらのさまざまに分布したサービスに対して、標準的で、自在かつ、分散オブジェクト志向のソフトウェアアーキテクチャを適用してシステムを構築している。これらを分散型ミドルウェアをベースに構築することで、そのミドルウェアに必要な分散機能を持たせ、かつプラグアンドプレイが可能な構造を実現している。

1.2.1 デザインの基本概念

ソフトウェア一般に要求されるデザインの内容を含め、以下のような基本的な要求を定義している。

拡張性

仕様変更にも簡単に対応できるような構造にする。さまざまな装置を取り付けるとき、ソフトウェア的なサポートが必要になることがあり、それらの拡張を他の部分に影響しない形で実現できるような構造が必要。

正確性

制御機構が、要求や仕様で定義されている正確にタスクを実行できているか。要求が定型の形式に従って記述されていることが重要。

信頼性

異常時にシステムの制御がおかしくならないための信頼性。異常が発生しても大災害に至らないように制御しないといけない。実行中のタスクがきちんと終了するか、'graceful degradation'になるべき。

簡単化

システムの運用・入力・出力の判断・エラー回復が簡単かどうか。

再利用可能性

新規制御システム開発に、どの程度現在の資産が再利用可能か。プロジェクトで生産する必要のあるコード量を減らし、他の改善に時間を割くために重要。

適合性

他の部分のハードウェア・ソフトウェアと組み合わせるときにきちんと適合するかどうか。

効率性

ハードウェアや通信帯域が必要とされる最低限になっているかどうか。

可搬性

さまざまなハードウェアやソフトウェア環境上に開発された制御系を展開できるか。デファクトのような産業界での標準をハードウェア・ソフトウェアの両面で採用することがこの理由から推奨される。

検証可能性

検証や受け入れ検査を行う際に、適合性、異常検知、障害検出プロセスを開発しておく。ソフトウェア構築時の障害や、運用時の技術的障害の原因を検知するときに重要となる。

安全性

GTCで必要とされるリモート制御機構では必須となる。

²GCS; GTC Control System

保全可能性

新規開発や問題修正の際に処理がしやすくなるように、ソフトウェア開発のコストの大半はメンテナンスで発生するため、メンテナンス段階を含めたコスト計算が必要とされている。

1.2.2 採用したコンセプト

OO - Object Oriented Approach

オブジェクト指向技術はデータとそれを操作するメソッドを中心とした実装手法。オブジェクトに共通した特徴を”generic class”にまとめ、クラスをグループ化することで構造化する。データの隠蔽、クラスの継承、ポリモーフィズム (関数の重複定義) などの機構があることで、オブジェクト指向開発はコードの再利用やメンテナンスに最適であることが実証済みである。

反復開発

古典的なウォーターフォール型開発では一括して全体ができるが、GCSのような大規模プロジェクトではシステム全体を間違いなしに解析することは不可能であるため、一部分から実装していくことが重要。反復開発により、部分的な機能が完成した時点でリリース・テストすることが可能となり、もっとも高リスク・重要な部分から作成することで全体のプロセスをうまく回せる。

アーキテクチャベースの構造

アーキテクチャの観点からは、システムは高レベルのコンポーネントとその相互関係の集まりとみなせる。アーキテクチャにより複雑なシステム全体を高レベルで抽象化することが可能となる。古典的には、ソフトウェア開発は要求の集合として説明されていたが、このアプローチでは小規模な変更程度によってもソフトウェア開発プロセスが不安定となる。アーキテクチャベースで設計することで、ある程度のレベルの変更であればプロセスが不安定化することなく実現できる。

大規模な再利用

オブジェクト指向およびアーキテクチャベースの開発では、コードの再利用が可能である。経験的に再利用はマネージメントの視点や利益の視点で語られることが多いが、大規模なコンポーネントで再利用を行うことで非常に有効である。

標準技術の採用

UNIX や TCP/IP、C/C++ などといったオープンな実装、そして CORBA などのミドルウェアを採用することで、ハードウェアやネットワークなどそのほかの基礎技術の設計が柔軟になる。

オブジェクト指向フレームワーク

オブジェクト指向フレームワークは、単なる関連しあったクラスの集合だけでなく、一般的なデザインパターンを含む場合もある。フレームワークには基礎的な定義や動作が抽象化されており、活用することでコードの再利用をより効率的に行える。

デザインパターン

頻繁に発生する特定の課題を解決するためのコンテキストがパターンと呼ばれる。さまざまなユーザがさまざまな領域で有用なパターンを開発しており、ソフトウェアの抽象化を行ううえで重要である。

コンポーネントベースの開発

コンポーネントは well-known なインターフェースを持ったモジュールである。これらを基本とすることで、モジュールベースのアーキテクチャを採用でき、アプリケーションやシステムをバイナリのコードで構成できる。通常、GUI 開発環境で活用され、CORBA, JavaBeans, ActiveX などがポピュラー。(当時)

ユースケースを主体にしたアプローチ

システムの機能要求を判断するのに有用な手法がユースケースを活用する方法だということが認識されている。この手法によりユーザからの要求を意味のある情報へ変換できる。

1.2.3 アーキテクチャ - Logical view

ここでは機能的な要求を表現する。システムをクラスのような抽象化されたオブジェクトのまとまりに分解し、UMLのパッケージ・クラス・ステートのダイアグラムを利用して表現する。

基礎的な抽象化のレイヤーはデバイスとモデル。デバイスは物理的な実態とそれを制御するシステムの集合体である。いくつかのデバイスはハードウェアの集合体を一つの物理デバイスとして動かすためにラッパーがかぶったものになっている。デバイスサービスには標準化されたインターフェース経由で、他の GTC のサブシステムから物理的位置に関係なくアクセスを提供する。

(ステート) モデルは二つの観点から決定する。一つは downward で制御に必要な情報をどのように受け渡すか、もう一つは upward でセンサーなどから取得された情報をどのようにステータスとして受け渡すか、である。

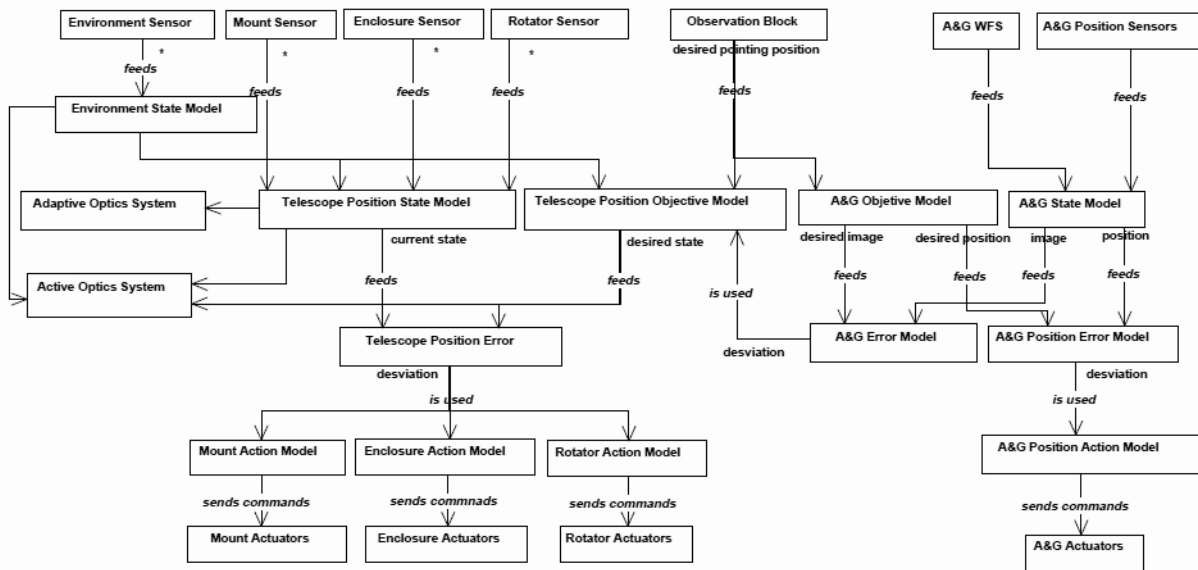


Figure 1 - Telescope position control class diagram

図 1: Telescope position control class diagram [9]

1.2.4 アーキテクチャ - Process view

GCS はネットワーク上に分散した構造化され高度に統合されたシステムである。これらはクライアント・サーバモデルにより構造化されているが、コントロールシステム自体は擬似実時間制御が必要である。また、非常に多数の制御点があり、それらを制御するためのプロセスも多数となる。

コントロールシステムは、単体では RT-CORBA 標準を利用してネットワーク経由で通信を行うようになっている。他のアビオニクス、情報通信、などのアプリケーション領域と同じく、実時間制御がネットワーク上でも、ミドルウェア以下の OS などにおいても要求される。CORBA を採用することで、クライアントはサーバオブジェクトへのメソッド要求を透過的に行えるようになり、ORB レイヤーがリクエストの受け渡しなどに責任を持つ。クライアントはそれらのターゲットとなるオブジェクトがどこにあるかや、どういう言語で実装されているかなどを一切気にしなくてもよい。

Object Services

分散オブジェクト中のどのプログラムからも利用されるような汎用サービスへのインターフェース

Common Facilities

垂直統合されたエンドユーザが利用するような機能

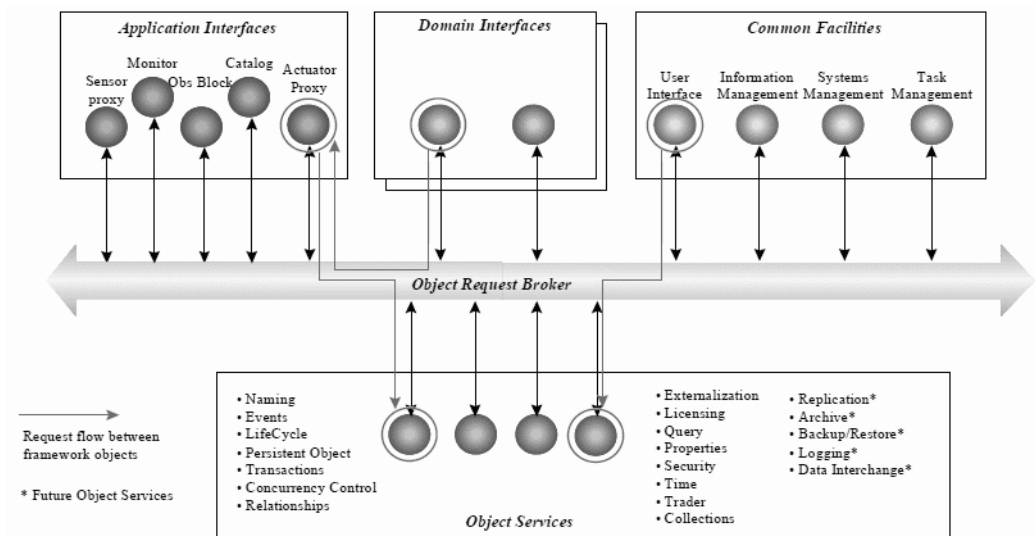


Figure 2. Distributed architecture

図 2: Distributed architecture [9]

Domain Interfaces

機能ドメインに特化したインターフェース

Application Interfaces

アプリケーション固有の非標準インターフェース

1.2.5 アーキテクチャ - Development view

この視点ではソフトウェアモジュールの構造に着目している。ソフトウェアは一人もしくはグループで開発可能なサブシステムに分割できる。サブシステム間の接続はヒエラルキー構造で表すことができ、それぞれのサブシステムレイヤーがある特有の well-defined なインターフェースを上下のレイヤーに提供する。この見方で、要求や作業がどこで必要なのか、コスト推定やプランニング、プロジェクト進捗監視や、それ以外にもソフトウェアの再利用・可搬性確保・セキュリティを担保できる。

標準的なオブジェクト指向アーキテクチャは以下のコンポーネントで構成される。

Base Operating System

RT 機能がついた汎用 OS で POSIX 標準などに準拠しているべき

Networking

ATM や高速 Ethernet、SCI などの LAN 技術

Persistene object store

データベースのようなアプリケーションでオブジェクト指向のデータ保存システム

Distributed object management

配置に関しての抽象化管理が行えるような機構

Domain-independent framework

ドメイン独立な抽象化を行うフレームワーク

Application environment

プリンタなどのクライアント向け汎用サービス

GUI desktop environment

GUI作成のための抽象化レイヤー

Domain model

センサーやアクチュエーターなどを含んだ機構を制御するようなオブジェクト

Domain-specific framework

GCS に特化した domain model のオブジェクトの中の共通部分

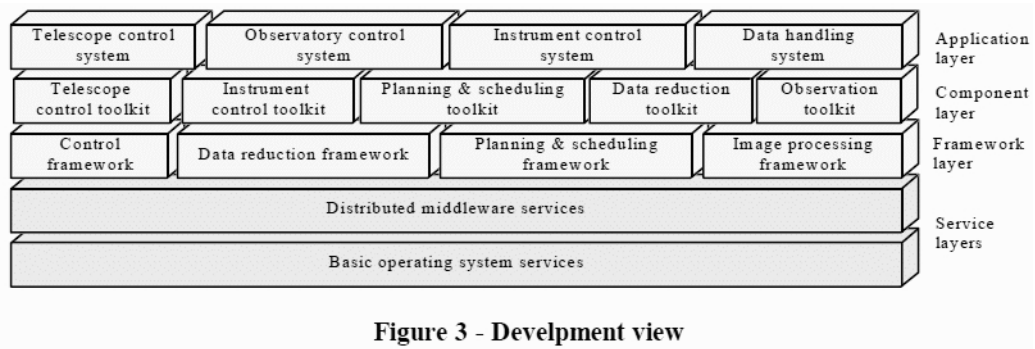


図 3: Development view [9]

1.2.6 アーキテクチャ - Physical view

コンピュータや電気機器などの物理配置を扱う。

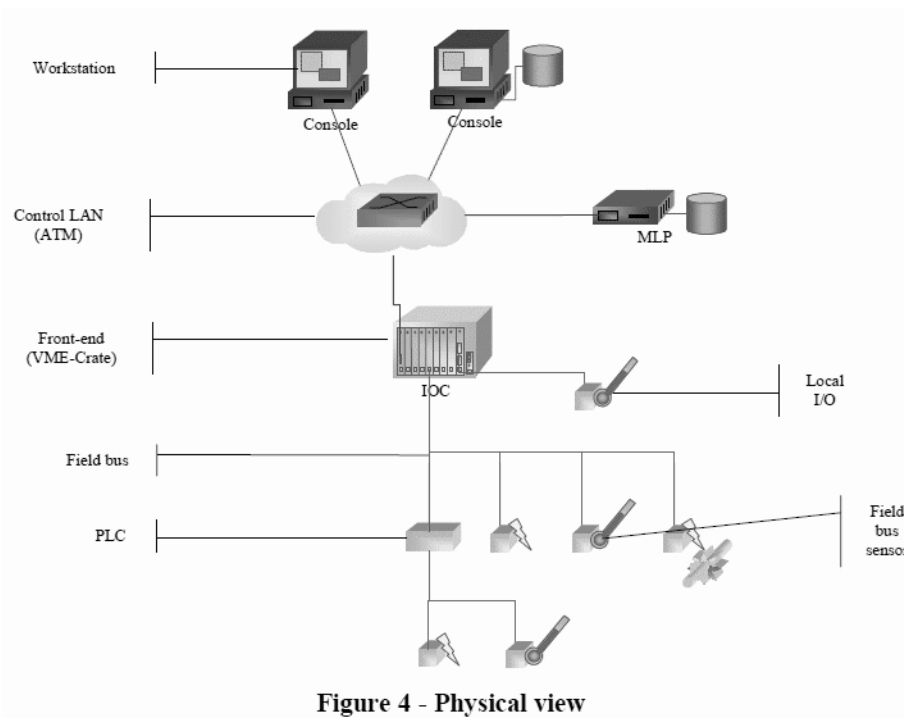


図 4: Physical view [9]

1.3 望遠鏡制御

(ざっくりまとめると、)

センサーからの読みの値をモデルとつぎ合わせて制御パラメータを出している。望遠鏡の制御モデルには以下の環境変数が含まれており、さまざまなキャリブレーションデータを実測し取得することで、モデルの最適化や追加に必要なキャリブレーションプロセス用のモデルの開発に利用している。

- それぞれのセグメントごとの特性
- セグメント間の tip-tilt の相対アライメント
- セグメント間の相対フェーズあわせ
- M1 と M2 の間の相対アライメント
- 望遠鏡のポインティング精度

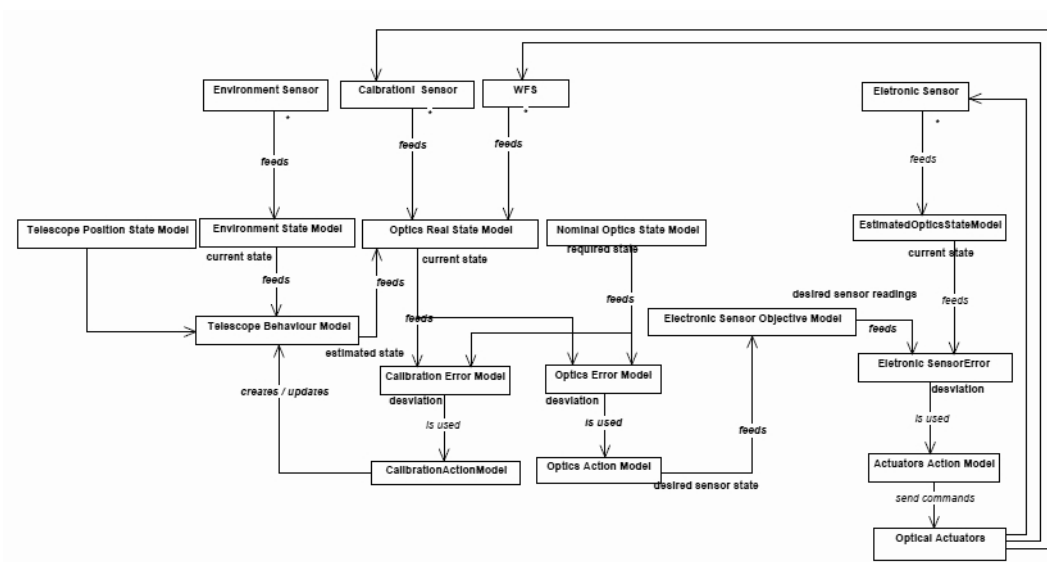


図 5: Active-optics object diagram

2 すばる望遠鏡

2.1 一般的な要求

すばる望遠鏡の制御系への要求やその検討内容には以下のようなものがある。³

2.1.1 Tracking Error Budget

すばるのカセグレン焦点での星像サイズについて、さまざまな要因を考慮してのエラー推定と実際の値のリスト (FWHM, arcsec)。[11]

推定値リスト

- Stellar Image Size - 0.23
 - Telescope - 0.20
 - * Diffraction - 0.013
 - * M1 - 0.10
 - * M2 - 0.04
 - * Structure/Tracking - 0.17
 - Structure - 0.12
 - Tracking - 0.12 (0.07 rms)
 - Dome Seeing - 0.12

トラッキングのターゲットごとの目標値と実測値。全体では、Target 0.07、Result 0.0676 となっている。表中の左の値が目標で右が実測結果。

- AG - 0.02 / 0.01
- Guider arm - 0.017 / 0.022
- Encoder AZ - 0.015 / 0.0138
- Encoder EL - 0.027 / 0.0207
- Torque AZ - 0.03 / 0.0251
- Torque EL - 0.03 / 0.0256
- Wind - 0.038 / 0.0456

2.1.2 全体機構のデザイン

風の影響 (トルク) からの制御への影響を抑えるために十分な帯域を持つ制御系を構築。帯域幅の目標は 11Hz もしくはそれ以上とされている。また、friction drive でなく direct drive を採用している。

³SPIE 論文など文献が見つからなかったものもあるため網羅はしていないので注意

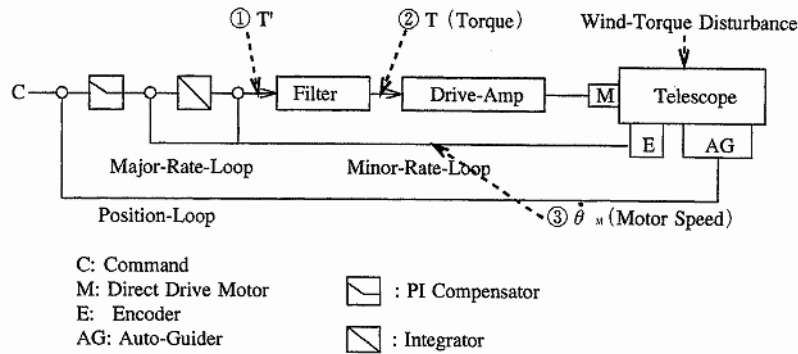


Figure 3. Block diagram of a servo control system for the Subaru telescope.

図 6: サーボコントロールシステムのブロックダイアグラムと測定点

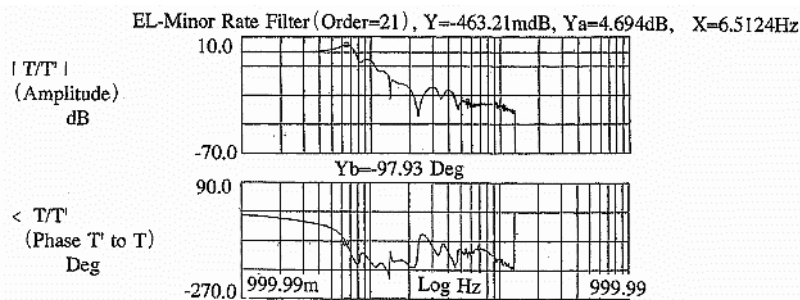


Figure 4(a). Filter characteristics from ① to ② in figure 3.

図 7: サーボ系のフィルター帯域実測結果

2.1.3 動的鏡サポート機構

すばるの主鏡ではサポート機構による動的な補正が、fig 8 のような制御機構により実現されている。主鏡の保持は 261 個のアクチュエータと 3 個の固定点による。

補正は二つのフィードバックループによって実現されており、実際の鏡面形状によるフィードバック (Mirror Analysis; MA) によるものと保持圧力値によるフィードバックがある。それぞれの測定は、MA は光学的な設定が変わったときに、保持圧力は 100msec 毎のループで行われている。

保持圧力値による制御で利用するデータは、いくつかの EL で最適になるような圧力分布を求めておき、各 EL 間では圧力分布を EL の関数として持っている。

2.2 TCS - Telescope Control System

すばる望遠鏡の制御系は”TCS” (Telescope Control System) と呼ばれ、複数のネットワーク (C-LAN, M-LAN, V-LAN) および P2P で接続されたコントローラワークステーションによって構成されている。

(図は省略; drawing 作業が間に合いません)

2.3 Gen2

すばるの OCS⁴をリプレースするプロジェクト。基本的な構想として利用しやすさ、柔軟さ、堅牢さ、拡張しやすさ、メンテナンスしやすさ、セキュリティを追求するようなシステム構成で、サーバサイドの”backend”と、ユーザが直接

⁴Observation Control System

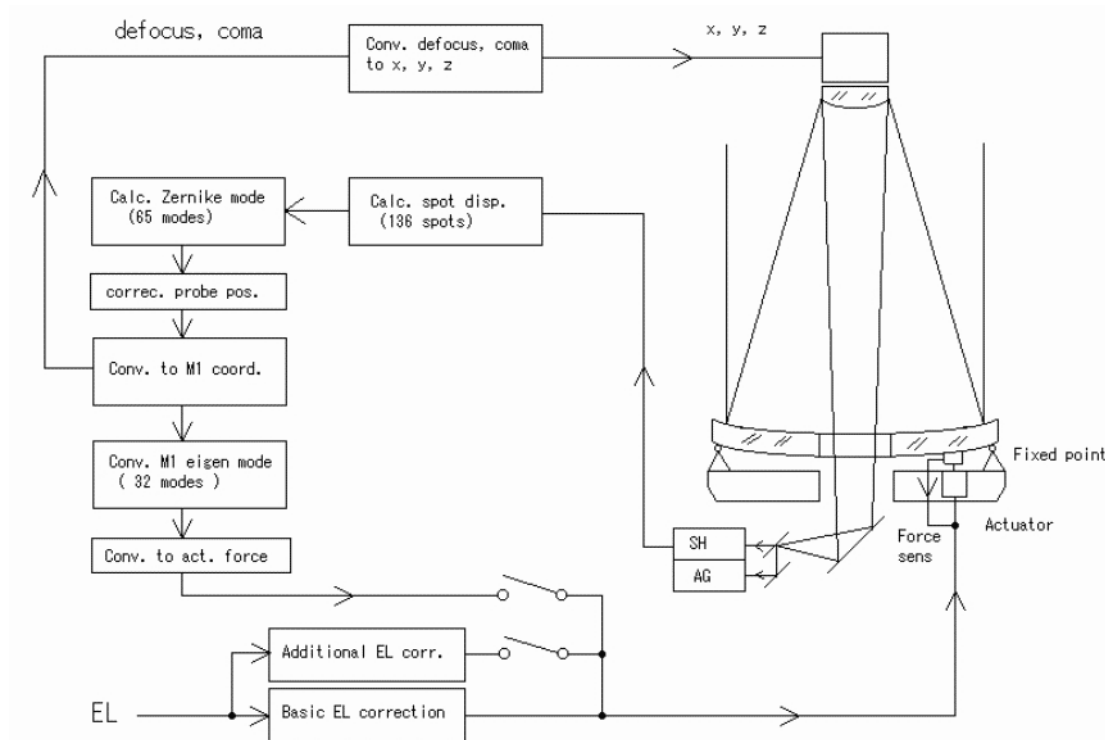


図 8: Block diagram of active mirror support system of Subaru Telescope [14]

触る”frontend”に分類される。

OCS のリプレースであるため、TCS とのインターフェースは TCS 側の改変を行うことなく実現している。このため、”バックエンドに投げる方法は同じままで、ガワだけを作り直して新しく使いやすい翻訳システムを作っている”ともいうことができる。

これらのシステム要求を実現するために以下のようなコンセプトデザインがなされている。

- 中央管理でのモニターとコントロールが可能なシステム

- すべての Gen2 での外部とのトランザクションのログを一括収集する
- ログファイルは一箇所に保存
- nagios/munin などを活用しグラフなどで連続的なモニターができるようにする

- 高可用性⁵デザイン

- リダンダンシー: 単一障害点⁶をハードウェアレベルでの二重化などによってなくす (RAID、複数電源・ネットワーク)
- ホットスワップ: すべての HDD はシャットダウンなしに交換できるように
- ネットワーク経由ですべての操作が可能ないように: KVM、UPS、ネットワークスイッチ、電源分配器などすべて
- 一般的な x86 クラスタ構成を採用
- failover: 可能な場合は自動的に代替サービスへ移行する機構
- サービスを他のホストに簡単に移行できる機構
- Gen2 ソフトウェアコンポーネントを一つずつ起動・終了させられる機構

⁵HA: High Availability

⁶SPF; Single Points of Failure

- 将来的に言語環境をサポート
 - 観測タスクの標準言語として Python を採用
 - 複数の科学者間の意思疎通のための環境整備
 - データの操作のためにさまざまなライブラリやパッケージを提供 (pyfits, numpy etc)
 - 綺麗な最低限の書式によるリッチな内部データ構造の提供
- SOSS 互換モードの提供

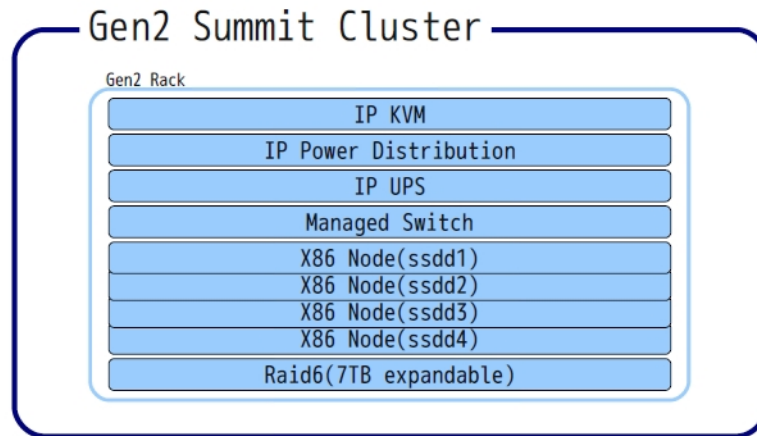


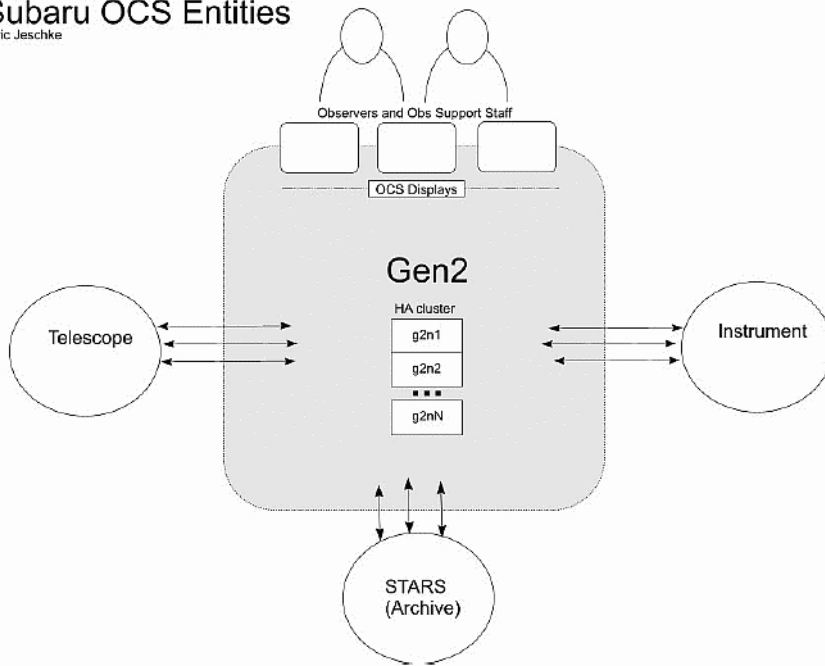
図 9: Gen2 Summit Cluster [5]

また、内部のサービスの構成としては以下のような構成をとっている。

- backend services
 - Boot manager: Start/Stop services
 - Session manager: クライアント認証とセッションの面倒
 - Monitor: Gen2 でのすべての活動をモニタできるサービス
 - Status: 望遠鏡・装置・OCS のステータスを収集し配布するサービス
 - Frame server: ユニークなフレーム ID の生成と配布のサービス
 - Task manager: シーケンシャルもしくは一斉のタスク実行サービス
 - Gen2 tasks: 観測者のタスクから生成されるコマンド群の総称
 - Sk file interp: レガシーな.sk ファイルのインタプリタ
 - External interface: 望遠鏡・装置・ガイダー・STARS などへの外部インターフェース
 - Archiver: データ生成後処理やデータファイルの表示サービス
- frontend services (UI)
 - 統合されたガイドインターフェース
 - quick look
 - データ解析パイプライン
 - 観測用の各種ツール (ビューア、天域モニター、ステータスマニター etc.)
 - Phase2 presentation tool
 - サービス・キュー観測用ツール? リモート観測用ツール?

Subaru OCS Entities

Eric Jeschke

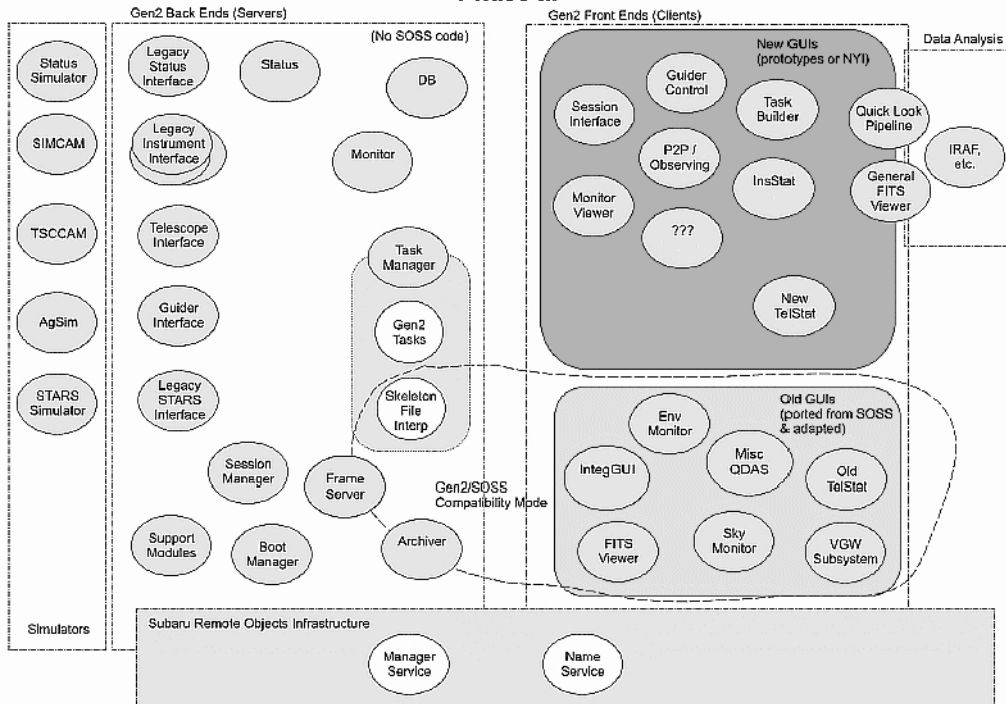


☒ 10: Subaru OCS Entities - Gen2 [6]

Gen2 Software Diagram

Eric Jeschke

Phase III



☒ 11: Gen2 Software Diagram [6]

参考文献

- [1] A. and B. . The application of CORBA to the GTC control system. Technical Report PUB/CTRL/0028-L, GTC, 3 2000.
- [2] J. M. Filgueira. Distributed object-oriented telescope control system for the GTC. In H. Lewis, editor, *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, volume 3351 of *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, pages 244–253, May 1998.
- [3] J. M. Filgueira and D. Rodriguez. GTC control system: an overview. In H. Lewis, editor, *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, volume 3351 of *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, pages 2–12, May 1998.
- [4] L. Ignacio, C. Juan, and H. Carole. Overview of the Gran Telescopio Canarias Global Model Simulation. Technical Report PUB/TELE/0032-L, GTC, 3 2000.
- [5] T. Inagaki, E. Jeschke, S. Streeper, X. Bon, H. Takami, H. Terada, and D. Tomono. A Second Generation Observation Control System for Subaru Telescope. In Subaru, editor, *Subaru UM*, volume 2008 of *Subaru UM*, page 1, January 2009.
- [6] E. Jeschke, T. Inagaki, S. Streeper, D. Tomono, H. Terada, and H. Takami. Gen2 Technical Overview. In Subaru, editor, *Subaru UM*, volume 2008 of *Subaru UM*, page 1, January 2009.
- [7] M. A. Jose. Distributed object-oriented telescope control system for the GTC. Technical Report PUB/CTRL/0018-L, GTC, 4 1998.
- [8] M. A. Jose. User requirements specification. Technical Report ESP/CTRL/0016-L, GTC, 2 1998.
- [9] M. F. Jose and R. Daniel. GTC Control System. An overview. Technical Report PUB/CTRL/0019-L, GTC, 4 1998.
- [10] B. Lefort and J. Castro. The GTC primary mirror control system. In *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, volume 7019 of *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, August 2008.
- [11] T. Noguchi, W. Tanaka, T. Sasaki, N. Kaifu, J. Noumaru, K. Okita, T. Shimizu, and N. Itoh. Evaluation of the SUBARU Telescope control system in-shop test erection. In H. Lewis, editor, *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, volume 3351 of *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, pages 361–366, May 1998.
- [12] R. Penataro, J. M. Filgueira, P. Gomez-Cambronero, M. Gonzalez, and M. Puig. Application of CORBA to the GTC control system. In H. Lewis, editor, *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, volume 4009 of *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, pages 152–166, June 2000.
- [13] M. Suárez, J. Rosich, J. Ortega, and A. Pazos. The GTC main axes servos and control system. In *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, volume 7019 of *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, August 2008.
- [14] N. Takato, T. Usuda, and W. Tanaka. Performance of active mirror support of Subaru Telescope. In J. M. Oschmann & L. M. Stepp, editor, *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, volume 4837 of *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, pages 675–680, February 2003.