

Gala-Vへの道作り

氏原秀樹 (NICT鹿島)

注: 口頭講演からポスター発表「広帯域フィードのシミュレーション」と重複する内容を整理し、かなり加筆・修正した

0. 広帯域受信システム 開発の流れ

• デジタル系

当初はダウンコンとADS3000+でスタートし、将来はダイレクトサンプリングを目指す。ここに異論はないだろう。

• アンプ

買えばいい。冷却するほどの予算のゆとりはないが帯域は十分である。お金があれば冷却したい。

• フィード

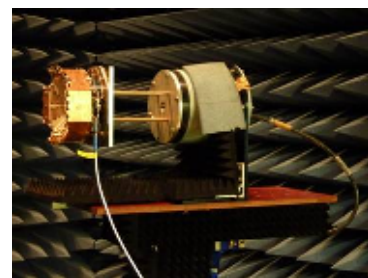
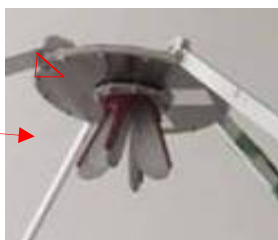
広帯域化が最も困難。いろいろなフィードがあるが、一長一短。

当初は小型VLBI可搬局MARBLE(図1)などのパラボラの主焦点に置くビーム幅の広いフィードから34mなどのビームの狭いフィードへ向かって開発を進める予定だった。現MARBLEではクワッドリッジフィードを使っているが、Eleven Feedを借用して京大や鹿島でビームを測定したりして将来の広帯域化に向けた下準備を進めていた。

ビーム幅が広いアンテナは物理サイズが小さいのでシミュレーションが容易である。しかし、我々の研究室のVLBIによる時刻比較プロジェクトの事情で34m用フィードを最優先にした結果、難易度が大幅に上昇した。

なお、Eleven Feedは原理的には共振周波数の違う多素子ダイポール・アレイと考えればいい。給電回路が複雑なので内部損失は大きいだろう。構造が単純なQRFHのほうがS/Nは良さそうに思う。

Yebeesのtri-band feedはイグアナフィードと同様に同軸の入れ子構造であるが、受信するS/X/Kaのそれぞれの帯域は従来と変わらないし、各バンドが十分に離れているのでさほど難しい。同軸構造による多周波対応フィードはASTRO-G/V SOP2の初期において議論はされたが、当時の計算能力では無理だったと思う。



借用したEleven Feed(2009年度)

MARBLE

鹿島34mとともに時刻比較に使う1.6mの可搬局。京大METLABでのビーム測定も行った。
(「Gala-V」「イグアナフィード」に準じて、愛称:「MOAI」が提案されている)

1. 数値計算での「問題」

「いまから大事なことを言う」計算は出来ないっ！計算はな....」 by JOJO

そんな台詞は実際にはありませんが、空条承太郎がそういってもジョセフはなにも言わないはず。

常識の裏をかく抜け目のなさが「先端を開くタイプの」研究ではとても重要。

回避策

a) 入力ポート部、モード変換部、ビーム整形部などの部分系にわけて合成。

波紋...いや波動の伝播が複雑すぎると無理。他の部分系との相互作用が小さければ使える。

b) 精度が悪いが全系のシミュレーションをする。

やらないよりはまし。数値計算上の問題なのか物理現象なのかを見極める目が必要。「物理屋」なら大丈夫。

数値計算で言う「計算ができない」とは？

a) 実用的な時間で結果が出ない: CPUの能力不足→お金で解決。ないものは買えないが。

b) 実用的な精度が出ない: メモリー不足→お金で解決。ないものは買えないが。

c) 数値解が収束しない: 数値解法の問題→問題に適した数値解法を選ぶ。「教養」があれば解決。

d) そもそも複雑すぎる: 巡回セールスマン問題とか...誰かがアルゴリズムを発見しないと無理→人類の課題

一つのデザインあたりに必要な資源

フィードの物理サイズは最低周波数で決まる。数値計算に必要なメッシュ数は最高周波数で決まるが、その上限は計算機のメモリーサイズである。よって、最低最高周波数の比が1:10だとすると必要なメモリーの比は1:1000。

一方、計算時間は使用メモリー量に比例すれば幸いであるが、概ねメモリー量の2乗,3乗になる。

フィードを設計するのに必要なデザインの試行数

フィードを10区間に分け、それぞれの長さ、直径がパラメータとして、個々のパラメータで10個の試行を行うとすると10の10乗の組み合わせ(←多モードホーンは実際に10区間程度あるので無茶な実例ではない)。

2. 「問題」を解く

数値シミュレーションによる設計とは「膨大なパラメータ数の最適化問題を解く」ことである。

フィードの計算では入力ポートから開口面、周囲空間までの計算が必要だが、イグアナ・フィードのように構造が複雑だと独立して計算できる部分系に分けるのが困難。→精度の悪い全系シミュレーションをするほうが得。

とはいえ、128GBのメモリを使い切るモデルでの計算時間は1周波数あたり約2時間。母フィードで考慮すべき周波数すべてを計算すると半日、周波数範囲を半分にしたとしても1年でせいぜい1000試行なので、パラメータを総当りをするに10の7乗年かかってしまう。ただし、機械的なパラメータサーチなので開発者は雑用に励むゆとりができるが、それを使いたい人にとっては大問題。なので、開発者は「パラメータ空間の絞込み」に専念すべき。

先行事例があれば、あるいは、そもそものパラメータ空間(広さ=次元数×パラメータ範囲)が狭ければ仕事は楽。

- コルゲートホーン: 周波数、ビーム幅の2次元あるいは2自由度でおおよそ形状が決まる。
- カセグレンアンテナ: 主鏡口径、許容副鏡径、受信フィードの位置の3次元でデザインが決まる。

これらに比べたら、多モードホーンも広帯域フィードも桁違いに次元数が高くて「難しい」問題。

(もちろん「買って来た部品を並べただけ」の受信機開発とは雲泥の差。「LNAを開発する」であれば、かなり近い)

本来SKAやVLBI2010にみるように、アンテナは用途に応じて多種多様である。にも関わらず、日本の電波天文ではコルゲートとカセグレン以外にはほとんど手を出してこなかった。その結果、新しい「環境」への適応能力を失った。

- 新規に開発できる人材が枯渇: 広帯域フィードに手を出した多くの人達は挫折。でも挫折の原因は真摯に考えない。
- 研究環境の悪化: ある人からは「仕事が遅い」と何度も言われた。でも、それは問題の複雑さを理解してないだけ。

「シミュレーションをソフトを買えば設計ができる」というのは大きな誤解。ソフトはなにも考えない。

特にアンテナ開発では論文に明記されていないノウハウが多く、電磁気学と数値計算への深い理解とセンスが必要。(楽器作りと同じで言葉で表現できないノウハウもあるだろう)

3. 広帯域フィードの「開発」について

シミュレーションソフトはただの道具である。アイデアの検証のために使う。道具に踊らされてはいけない。

設計はアイデア(=パラメータの絞込み)が勝負どころ。思考に集中できる落ち着いた研究環境はとても重要。

- 広帯域フィード開発は泥沼? 地獄? →実際、この分野で成功してる人は非常に少ない。

「地獄の沙汰も金次第」とは言うが、その金がない...。とはいえ、フィードだけはNICT試作室製にすることで、作図地獄、値切り地獄、入札・契約書類地獄・年度末納品地獄その他諸々から脱獄できた。反面、新規開発の困難さを理解しない人への対応で大きな精神的疲弊と時間的損失。

- シミュレーションそのものが地獄: 設計パラメータが多すぎる。うまく絞り込む「要領のよさ」こそが肝心。

→HotでもColdでもなくCoolに肅々とノウハウを積み上げる「泥湯」: 多様なアイデアの「Hotspot」

Project-Xみたいな苦境に落ちればコケルことのほうが多いので、まずは苦境に陥らない工夫が重要。

熱血主義に踊らされてはいけない。24時間戦わずにちゃんと寝よう。長い開発期間内に倒れないように。

「皆と一緒に頑張るのが美しい」みたいな全体主義にはNoと言おう。ヒトはロボットじゃない。イヌでもない。

生物に見るように多様性を失った集団は絶滅する。本プロジェクトにおいても、例えばポスターの図3a.の多モードのコルゲートフィードは「後回しにしろ」と上司に言われたが敢えて無視した。誰もやったことのない研究・開発においては一本道ではゴールにたどり着くなんてありえない。常によそ見をしつつ、「より最適」と「思われる」ルートを選択することを繰り返した結果、ゴールにたどり着けるのだから、よそ見ができなきゃ破滅するだけ。

ある意味、研究者は「一所懸命」になって「視野狭窄」に陥ってはいけない。

4. まとめ

•「Gala-V」の名のコンセプトは「自虐」である。本プロジェクトではインテリジェント・デザインこそが重要であるので進化論への皮肉とも言える。

•他と同様、本プロジェクトにおいてもいろいろな問題が生じたが、泥舟にならなかつただけ良しとしよう。

•少なくとも装置開発においては「パラダイムシフト」が必要。昔ながらの熱血主義: 「努力」と「根性」では乗り切れないほど問題が複雑化した。「要領のよさ(=思考アルゴリズムの効率)」こそ評価すべきであろう。



ヒトには熱すぎる「天然坊主地獄」
生物には適度な「ぬるさ」が必要だ。