

CERN Summer Student Programme 2012

九州大学大学院 理学府物理学専攻

大石 航

kou@epp.phys.kyushu-u.ac.jp

2012年(平成24年)10月26日

1 はじめに

平成24年度7月9日から9月14日の10週間にわたりスイスはジュネーブに位置するCERNで開催されたSummer Student Programme 2012に日本からの学生として参加させていただきました。本プログラムは全世界の物理、あるいは情報技術を専攻する学生を対象とし、各学生は予め提出した願書での希望に基づきCERN内で研究を行っている研究グループの一つに配属されます。そこでは実際の研究員として活動しその研究結果が直接実験にフィードバックされ、責任が伴う反面大変やりがいのある仕事に携わることもできます。

私が配属された場所はCMS実験のトラッカーグループの中でも膨大な量のシリコンストリップ検出器群からデータを引き出して処理をかける回路やその制御系を作成したチームで、スーパーバイザーであるJonathan Fulcher氏の下での私の仕事はその回路のデバッグでした。以下ではその研究内容や異国CERNでの生活について報告致します。

2 研究内容

CMS (Compact Muon Solenoid) 実験で用いられるCMS検出器は、中央からシリコントラッカー、電磁カロリメータ、ハドロンカロリメータ、超伝導ソレノイド電磁石、ミューオン検出器という構造になっています(図1)。特にシリコントラッカーの検出器にはピクセル型が約6500万チャンネル、ストリップ型が約1000万チャンネル用意されており、衝突点からの粒子の飛跡を検出します。

トラッカーの中でもマイクロストリップトラッカーには、その各ストリップからの信号を取得しノイズを除去して簡単に整理した後、最後に後続のデバイスに送信するまでの処理を受け持つFED (Front End Driver) がデータ処理の上流部分に450個設置されています。各々内部に8つの同じFPGA (Field-Programmable Gate

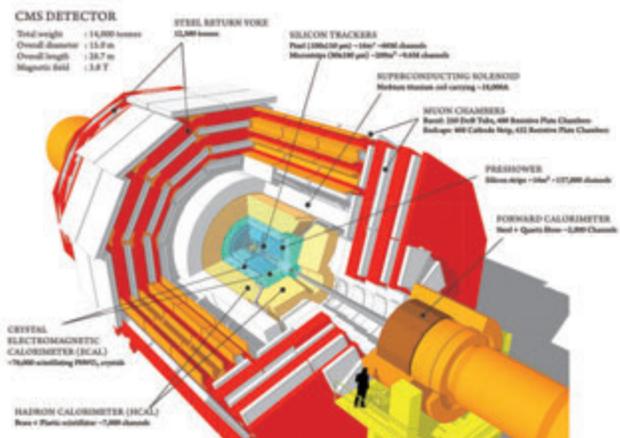


図1: CMS 検出器

Array) を内蔵しており、FPGAとは自由な論理回路をユーザからのコードプログラムにより生成することが可能な集積回路のことです。実質的にこのFPGAがFEDの動作を司ります。各FPGAは12個のチャンネルを持ち、各チャンネルは2つのAPV (Analogue Pipeline - Voltage) という信号増幅デバイスにつながっており、その一つあたり128個のマイクロシリコンストリップ検出器がまとめられています。FEDはAPVで得られる128個のアナログ信号データを一つの単位として扱って処理をします。イベントごとに128個の信号が各APVに入ってからFED内で行われる処理手順を図2を用いて簡単に説明すると、

1. 10bitにAD変換された信号が128個並ぶ。
2. 各ストリップごとにあらかじめ測定しておいた pedestal分を除去。
3. データを昇順で並べ替え64番目の値、つまり中央値 (median) を取得。
4. 得られた中央値分をすべてのデータから除去することで50%のデータ削減を行い、各信号を8bitに圧縮。

5. あらかじめ設定された高低2つの閾値を用いてクラスターを見つける。
6. 得られたクラスター情報を後方のデバイスへ出力。

図 2: 各 APV 内での処理手順

となっています。私の仕事はこの一連の作業の中で FED にシステムティックなバグが存在しないかどうかを調べ、存在するならばその理由を調査しそれを直すこと、つまりデバッグでした。

まずデバッグソフトウェアを作成しました。FED は外部からの命令を通して、任意のフェイクイベントを各ストリップごとに与えることができます。そのためバグ探索の方法は単純で、ソフトウェア上でフェイクイベントを作成しそれを FED に送信して処理させると同時に、ソフトウェア上でも FED の動作と同様な処理をフェイクイベントにほどこします。最後にその結果と FED から得られたクラスター情報を比較し、そこに何かしらの差異があり、そのエラーがシステムティックに存在するならば、それはバグです。全 10 週間の内、初めの 2 週間は FED の動作やソフトウェア作成のためのプログラムコード規則の勉強に費やしましたが、基本的な事項以外を網羅する十分なマニュアルがなかったため膨大に用意されたサンプルコードやライブラリコードを直に読む作業となり大変でした。

ソフトウェアの完成後は実際にソフトウェア上で大量のフェイクイベントをランダムに作成し FED に送信しながら計算、出力との比較を繰り返す作業です。これらは自動で行い、何かしら差異が発生した場合はその完全なログをデータとして保存するようにしました。結果として 2 つのエラーを発見することができました。1 つは中央値の計算において 64 番目でなく 65 番目の値を中央値として取得してしまうエラーでしたが、実際この両者の値が大きく異なることはないため出力に大きな影響は与えないだろうというスーパーバイザーの指示により無視しました。しかしもう一方が重要で、一つ前のイベントの中央値を現在のイベントの中央値としてごく稀に誤って使用してしまうエラーでした。当然両者に相関はないためこれはデータに大きな欠陥を生みます。

原因を探るため、間違っって以前の中央値を使用してしまった時に、本来使われるはずだった真の中央値の頻度をヒストグラム化しました (図 3)。これら特徴的なピー

クの値は間隔は 32、つまり二進数でちょうど 5bit になり、各値は 10001 11111, 10010 11111... といった桁が上がる直前です。実は信号の並び替えに際し FED は各信号の 10bit を上 5 桁と下 5 桁に分け処理をしています。中央値の値を計算した後、FED がそれを取得 (data latching) するのはこの下 5 桁の値を計算した直後になり、また各 bit の値が FED 内 FPGA のレジスタ内で 0 から 1 に遷移するためにかかる時間は 1 から 0 に要する時間より長い特徴があることをふまえると、このエラーの原因はこの data latching が特に 0 から 1 への遷移の途中という曖昧なタイミングにおきること、元々レジスタ内に残っていた以前の値が使用されるのだろう、ということがスーパーバイザーと私が至った結論でした。

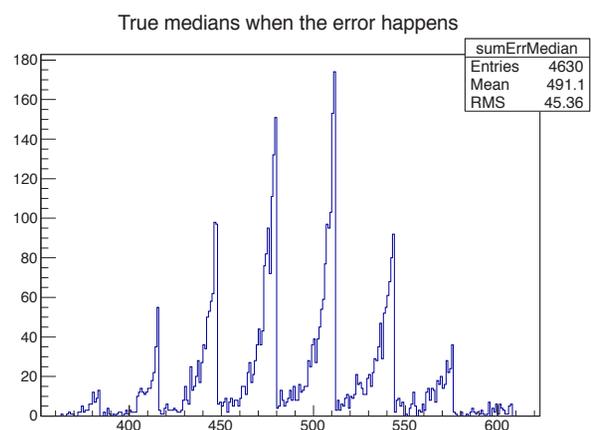


図 3: エラー発生時使われるはずだった中央値

これを修正するためには FPGA 内の data latching に使用する内部クロックを慎重に修正する必要がありました。しかしスーパーバイザーと共に FPGA のコードを少しずつ変更 (クロックの位相や周波数を変えるなど) しましたが FPGA コードのコンパイルや、確認のためのデータの統計の取得に時間がかかるため、完全な修正に成功する前に終了となりました。最後の 4 日ほどはこのソフトウェアを今後チームの方に利用していただくための説明書作成に費やしました。

3 CERN での日々

CERN では 7 月 4 日に待望のヒッグス (らしき) 粒子発見の発表日からサマースチューデントへの講義が開かれました。私は期間の都合で 9 日からの参加になりましたがそれからはすべての講義に参加しました。中々レベルの高い講義で充実していました。聞き慣れない科目の話は厳しかったですが、毎日講義とは別にディスカッションの時間が設けられており、先生方が部屋にしばらく残って下さったおかげで直接聞きに行くことができ私のつたない英語にも快く対応してくれて大変助かりまし

た。ユーモア溢れる先生もおられ、反物質についての講義の最後には「今まで紹介した方法の他に、もうひとつだけ反物質を閉じ込める方法がある」と言いながら頑丈そうなアタッシュケースの中から取出したのは映画「天使と悪魔」で登場したアイテムでした (図 4)。

途中ではプレゼンテーションとポスターセッションの機会がありましたが、先約制だったことや仕事の進み具合の問題から尻込みして見送ってしまいました。これは極めて反省するべきであったと思っています。ですがその分ポスターセッションでは自由に見て回り様々な人と議論をすることができました。日本ではなかなか見ない実験もあり見聞を広げることができました。



図 4: Anti-Matter Trap に群がるスチューデント

また CERN 内の施設の見学も実施され、私は ATLAS と CMS 関連施設の見学、LINAC の見学に参加しました。大きな研究所が好きな私にとってはとても楽しかったです。また本来の仕事以外で検出器関係の仕事を体験する機会もあり、私は TOF (Time Of Flight) について勉強と簡単な実験を行いました。

研究生活について、スーパーバイザーの Jonathan は極めて忙しく、中々顔を合わせることができなかつたのですが、メールの反応は極めて早く研究に支障なく活動できましたし、直接会えた時には十分に時間をとってコーヒーを飲みながら仕事について親切に相談ののってくれました。またオフィスに常に居た他のスタッフはほとんどイタリア人でしたので職場には英語でなくイタリア語が飛び交い、私はもともと好きで勉強していたのでかなり (英語より?) 上達しました。皆さんは朝、昼食の後にも長くコーヒーブレイクをとる上に 6~7 時にはしっかりと帰宅しますが、短い時間に集中して仕事をこなすそのスタイルにはよい刺激をうけました。

また本プログラムは様々な国の人と友達になるよい機会でした。特に素粒子理論専攻のポーランド人で日本好きの Krzysiek、情報分野出身のイタリア人で既にビジネスを開いている Matteo とはよく一緒に話をしたり彼

らの郷土料理をごちそうになりました。何度か日本人学生 5 人で天ぷらや冷やし中華、親子丼などの日本食を作り、彼らや他の学生を招待して食事会を開いたりもしました。天ぷらは酒にあうとかなり褒められましたが、親子丼についてはどうも柔らかい米が苦手そうな学生もいて残念でした。Matteo は先に帰国してしまったので最後の週末休みには彼の住む Brescia に遊びに行つて彼に町の案内や仕事の話をしてもらったり、仕事場を見せてもらうことができました。こういった楽しみは観光旅行だけでは決して得られないと思います。

日常生活について、私は初め CERN の Meyrin 地区内にあるホテルのトイレ付き一人部屋でしたが、少し高かったため一ヶ月後には Saint Genis にあるホテルの一人部屋に移動しました。どちらも快適でした。CERN のレストランは朝早くから夜遅くまで営業しており、物価の高いスイスの中ではまだ安く (一食 10 フランほど) 食べられ、また常時開放されコーヒーも飲めるため仕事も快適にできる場所でした。これは日本にはあまりないよい環境だと思います。

4 今後に向けて

この夏は、極めて広い範囲の知識を持つ人々に会うことができました。特に同じ年代の彼らの海外での研究活動についての意欲や視野の広さには驚かされ、また議論への強い意欲には本当に感心しながら、豊富な知識量に支えられた彼らの様々な疑問へのひたむきな態度を感じました。これからは彼らをよく見習い、今以上に学問に励みたいと思います。最後に、やはり議論する英語を使えるようになることも非常に重要だと実感しました。

本プログラムの今後への要望について、十分に満足な経験をさせていただいたので大きく望むことはありませんが、特に私は九州大学からの初の参加者ということもあつてか情報収集に不安を感じた面もありましたので、前もって過去の参加者の方々から直接お話を拝聴する機会があると助かると思います。

5 謝辞

私のプログラムへの参加は、開催側の CERN、仲介しお世話をしていただいた KEK の職員の皆様のお力添えにより成ったものです。特に直接お世話いただいたスーパーバイザーの Jonathan Fulcher 氏、KEK の福田様、石川様には深くお礼申し上げます。また CERN 駐在 ATLAS 日本グループの学生の皆様にも大変お世話になりありがとうございました。最後に、長期間研究室を空けた私のフォローをして頂いた九大研究室の先生、同輩、後輩の皆様にも感謝致します。