LCGT データ解析に必要な計算機能力

2004/11/22

田越秀行

1　連星中性子星，ブラックホールの inspiral

LCGT のノイズパワースペクトラムは，2003 年の秋に山元氏から提供されたものを用いる．テンプレート数の計算は，Owen[1] に基づく．これは，1PN 近似，スピンのない場合の波形を用いた評価である．1PN 近似を用いる理由は，計算が非常に簡単化されるためである．Owen and Sathaprakash[2] によと，高次のポストニュートニアン近似の効果で，最大 factor$\sim$ 2 程度テンプレート数が大きくなる可能性はある．従って，ここではとりあえず，テンプレート数は計算結果を 2 倍したものを用いる．

なお，以下の結果を見れば分かるように，テンプレート数は探査する最小質量 $m_{\rm min}$ に対して $\propto m_{\rm min}^{-8/3}$ という依存性を示す．そのため，2 倍の差は最小質量の約 23%の変化に相当する．

ここでの評価は，matched filtering の内積積分を実行する際に必要な演算速度を評価するものである．

表 1 にテンプレート数と，データの長さと同じ時間で解析を終了させるための計算機の演算速度を載せる．計算に用いたパラメータは，Minimal match(MM)（テンプレートから外れたパラメータを信号が持つ際の最小の S/N 比．テンプレートと信号が一致していた場合を 1 とする.）が $MM = 0.97$，$f_0 = 123$Hz（ノイズスペクトラムが最小となる周波数），$f_s = 10$Hz（テンプレートの最小周波数），$f_u = 1100$Hz（最大周波数）最大質量 $100M_\odot$，検出器は 2 台，である．なお，テンプレート数 N_{temp} と計算機の演算速度 P_{comp} は，

$$N_{temp} \sim (1-MM)^{-1} m_{\rm min}^{-8/3} f_0^{-8/3}, \qquad P_{comp} \sim (1-MM)^{-1} m_{\rm min}^{-8/3} f_0^{-5/3},$$

というスケーリング則が成り立つ．また，あからさまに書くのは難しいが，f_s にも非常に依存する．f_s が大きくなると，必要な演算速度は小さくなる．

minimal mass ($M_\odot$)	template number	CPU power (flops)	CPU power including χ^2 (flops)
0.2	2.6×10^7	5.4×10^{12}	4.3×10^{13}
0.4	1.5×10^6	2.8×10^{11}	2.2×10^{12}
0.6	1.4×10^6	2.6×10^{11}	2.1×10^{12}
0.8	6.4×10^5	1.1×10^{11}	9.4×10^{11}
1.0	3.7×10^5	6.7×10^{10}	5.3×10^{11}
0.2	8.4×10^6	1.5×10^{12}	1.2×10^{13}
1.0	9.7×10^4	1.5×10^{10}	1.2×10^{11}

表 1: 探査する最小質量 (1 つの星) とテンプレート数，データの長さと同じ時間で解析を終了させるための演算速度．最初の 5 行は $f_s = 10$Hz，最後の 2 行は $f_s = 20$Hz としたもの．

実際の解析では，テンプレートの計算，χ^2 の計算等々の計算もある．この中で一番計算時間が必要となる χ^2 の計算の分を取り入れる．χ^2 計算はテンプレートの分割数によるが，目安として分割数は 8 とする（これまでの TAMA 解析では 16 だが，LIGO は 8 でも良い結果が出ているので 8 を用いる）．計算コストは，最大で，matched filtering の内積演算に分割数を掛けたものとなる．表 1 の 4 列目に χ^2 計算も含めた計算コストを載せてある．ただし，χ^2 の計算量は，結果として何を残すかにも非常に依存し，χ^2 計算をほとんどせずに済ますことも場合によっては可能である．

まとめると，$0.2M_\odot$ まで探査するには，5TFLOPS を越える環境が必要となる．$0.4M_\odot$ までなら，2TFLOPS の環境で χ^2 は可能となり，χ^2 計算をほとんどしないなら 300GFLOPS の環境でも可能である．$1M_\odot$ までならば，500GFLOPS の環境で χ^2 まで可能，χ^2 を省略するなら 70GFLOPS で可能となる．最小周波数

f_s を調節することでも計算時間を短縮することは可能である．ここで計算した $f_s = 20$Hz とした場合は，10Hz の場合に比べて，S/N の減少は 2%程度である．

参考文献

[1] B.J. Owen, Phys. Rev. D, **53**, 6749 (1996).

[2] B.J. Owen and B.S. Sathyaprakash, Phys. Rev. D, **60**, 022002 (1999).