



心拍変動周波数解析Webサーバーの開発と評価

安藤, 啓司 ; 瀧本, 直美 ; 西本, 香織 ; 桓山, 雅子 ; 堀, 雅代 ; 北野, 貴美子 ; 塩谷, 英之

(Citation)

神戸大学医学部保健学科紀要, 14:117-123

(Issue Date)

1998-12-25

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/00181868>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00181868>



心拍変動周波数解析 Web サーバーの開発と評価

安藤啓司,¹ 瀧本直美,¹ 西本香織,¹ 栞山雅子,¹
堀雅代,¹ 北野貴美子,¹ 塩谷英之¹

緒 言

近年の通信, コンピュータ技術の進歩には目覚ましいものがある。臨床生理検査に用いられる機器においても多くがコンピュータ化され, 様々なデータ処理機能を備えている。しかし研究の場面においては, あらかじめ機器に装備されているデータ処理機能では満足できず独自の解析を行うコンピュータプログラムの開発がなされる場合が多い。こうして作られたプログラムは要望に応じフロッピーディスク等の媒体あるいは, ネットワークのFTP サービスを通じて他の研究者へ配布する事が可能である。しかし, 配布されたプログラムを動作させるには作者と同等の機器や計算機環境を準備する必要があり誰でも簡単に試してみることはできない。

一方, 分子生物学の分野では以前よりアミノ酸配列のホモロジーサーチなどのサービスがインターネットを通じて行われてきた。すなわち, ネットスケープやインターネットエクスプローラなどのブラウザソフトが動作するコンピュータ(機種は問わない)さえあれば誰でも高度な計算サービスが受けられるのである。このようなサービスを臨床生理の研究の分野でも行えば, 独自に解析プログラムを作成する余裕が無い臨床家などによる活用が期待される。このような研究の一つとして心拍変動のスペクトル解析がある。心拍数変動は自律神経活動を反映していると考えられており¹⁾, 心筋梗塞患者では, 心拍変動の減少は独立した予後危険因子である。すなわち心拍変動の減少した患者は予後不良で

あると報告されている²⁾。従って心拍変動の観察は心臓における自律神経機能の評価方法として注目されている。また循環器領域のみならず心拍変動は糖尿病患者の自律神経障害の重症度の指標としても用いられている。現在では少し高級な心電計を用いればRR間隔を自動的に測定できるが, 通常はその測定値から平均や標準偏差を求めて心拍変動の程度が評価されているのみである。心電計で得られたデータをもとにスペクトル解析を行えばさらに診断的価値は高まるが, それにはプログラミングの知識が必要であった。そこで, 我々はブラウザソフトを窓口としてRR間隔の測定値を受け取り, 心拍変動の周波数分析を行い, 結果としてそのパワースペクトラムをブラウザへ送り返して表示させるシステムを開発し, 試験運用した。

方 法

1) 使用した開発システム

本研究にはナショナルインスツルメンツ社のLabVIEW開発システムおよびインターネット開発ツールキットを用い, CPUにAMD-K 6 (200MHz), RAMを96Mbyte搭載したWindows 95マシンで作業した。LabVIEWはデータの集録, 制御, 解析, 表示などを実現するVIと呼ばれるソフトウェアオブジェクトをグラフィカルに組み立てて意図した動作を行わせるグラフィカルプログラミング言語である(プログラムの例は後述の図を参照)。このため習熟も容易であり, 導入後約5ヶ月で次に述べるプログラムを作成できる程度にまで習熟できた。

1. 神戸大学医学部保健学科

2) プログラムの概要

本システムのプログラムは中心となる心拍変動周波数解析プログラム、その結果をインターネットを通じて発信するHTTP(Hyper Text Transfer Protocol)サーバプログラム(GWebサーバ)および両者を仲介するCGI(Common Gateway Interface)連携プログラムからなる。ここで使用したGWebサーバは通常のHTTPサーバとしてブラウザからの要求に応じてHTML(Hyper Text Markup Language)ファイルなどを配信する機能に加え、LabVIEWで作成したCGIプログラムを起動する機能や指定されたLabVIEWプログラムのフロントパネルウィンドウのスナップショットを画像として配信する機能を有する。

今回開発したシステムを利用するには、まずユーザが各自のWebブラウザソフトを起動し我々のホームページへアクセスする(図1左)。ついで図に示すフォームにRR間隔の測定値を100個程度記入(実際には表などからコピーし

て貼り付ける)して「送信」ボタンを押すとしばらくして図1右のような結果が表示される。上のパネルは与えられたRR間隔をそのまま時間の関数としてプロットした元データとそれらの点の間をスプライン補間で滑らかに結んだ線のグラフである。下のパネルには補間データから求めたパワースペクトラムとそのLF(0.04~0.15Hz)、HF成分(0.15~0.5Hz)およびそれらの比が表示されている。

3) プログラムの動作

データの流りに沿って今回作成したプログラムおよび関連プログラムの動作を簡単に述べる。

クライアントのブラウザソフトは図1左のページを表示しデータが記入されるのを待つ。データが記入され、送信ボタンが押されるとブラウザは記入されたデータや起動すべきCGIプログラムなどの情報をHTTPプロトコルに準拠した特殊なデータストリームに変換してサーバへ送信する。サーバは指定されたCGIプログラム(図2)を起動し、それへデータストリーム

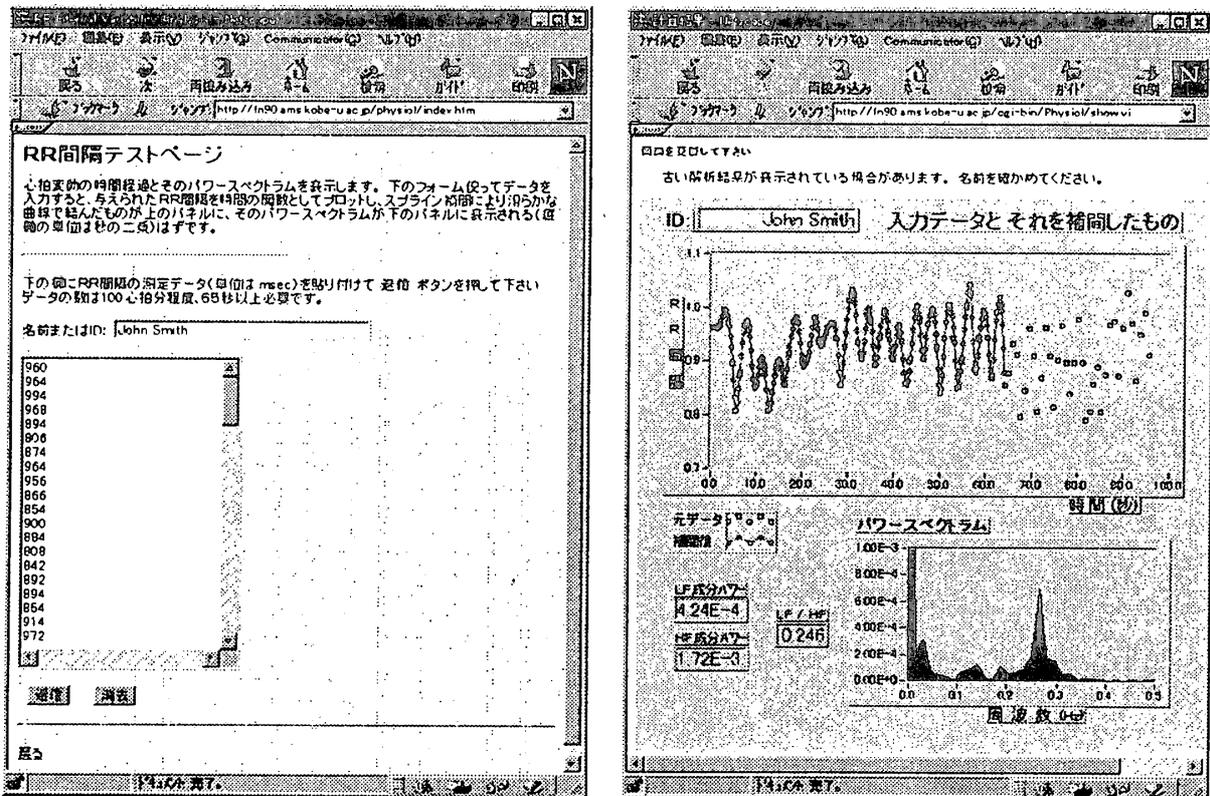


図1. 今回作成した Web 対応心拍変動周波数解析システムのデータ入力画面 (左) および結果表示画面 (右)

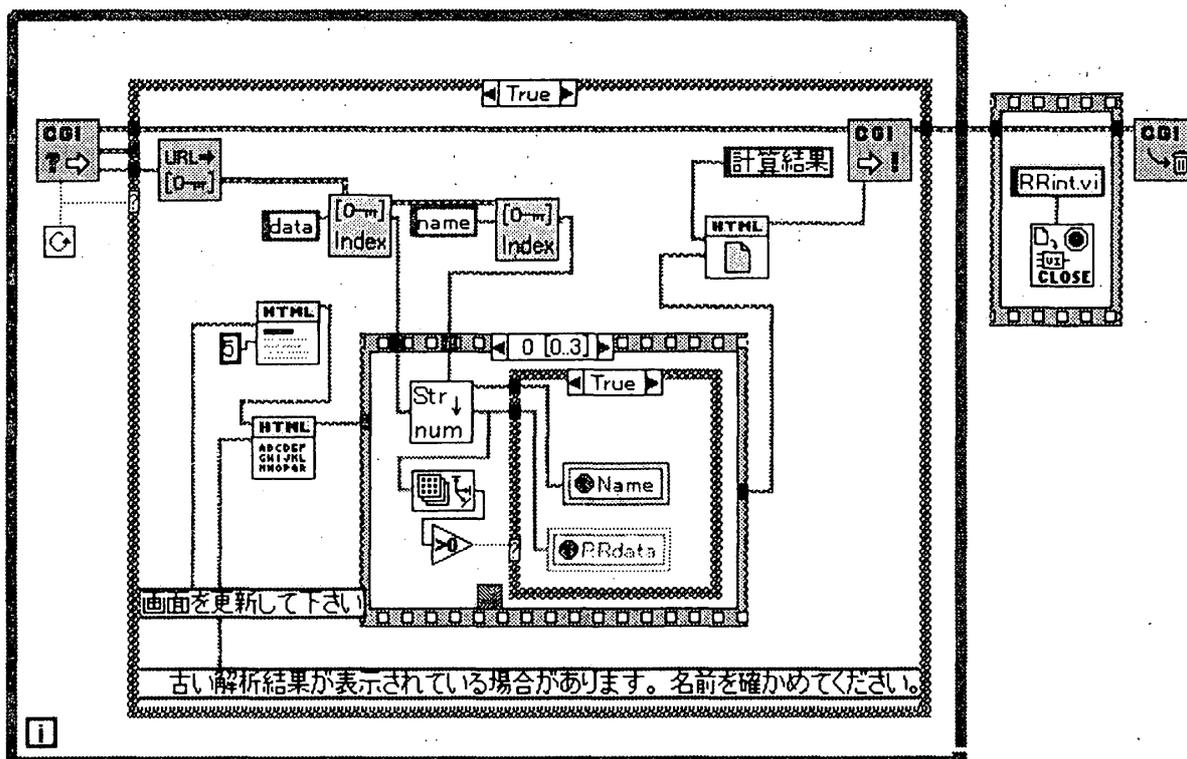


図2. ユーザと解析プログラムのインターフェースを行う CGI プログラムのダイアグラム

を引き渡し、CGIプログラムがHTML文書を作成するのを待つ。

CGIプログラムはデータストリームから必要な情報を抽出し(図2中央)心拍変動解析プログラムへ渡せるよう準備した後、それを起動させる。この作業と並行してクライアントへ送り返すべきHTML文書を自動的に作成(図2左と右)する。作成された文書には解析プログラムのウィンドウスナップショットを画像として取り込むための指示が含まれている。

図3に示す心拍変動解析プログラムは、まずCGIプログラムから受け取った測定値をもとに時間とRR間隔との関係を表わす配列を作成する(図3左上)。RR間隔の測定値は時間軸上に等間隔で並んではいない。ところが周波数分析を行うには等時間間隔でサンプルされた値が必要である。そこで、スプライン補間法を用いて測定値のあいだを滑らかな曲線で結び、RR間隔の値を0.25秒間隔で推定する(図3上中央)。この推定値をもとにパワースペクトラムを高速フーリエ変換法で計算し、結果を表示する(図

3右上)。ついで、LF成分(0.04~0.15Hz)およびHF成分(0.15~0.5Hz)のパワーとそれらの比を計算すると(図3下)このプログラムが開いていたフロントパネルの内容が更新される。この時点で制御はCGIプログラムへ戻り上述した通り、結果のパネルを表示するよう指示するHTML文書をGWebサーバー経由で送り返す。

最後にクライアントのブラウザが返送された文書を解釈し、ヘッダなどを表示するとともに、指示に従ってパネルの画像イメージを送る要求をサーバーへ出す。サーバーは指定されたプログラムのパネルをJPEG画像に変換して送り返し、クライアントブラウザがそれを表示し(図1右)一回のセッションが終了する。

結 果

卒業研究で心周期変動を研究している学生に試用させ本システムの評価を行った。比較対照としてはWeb対応でないRR間隔変動解析プロ

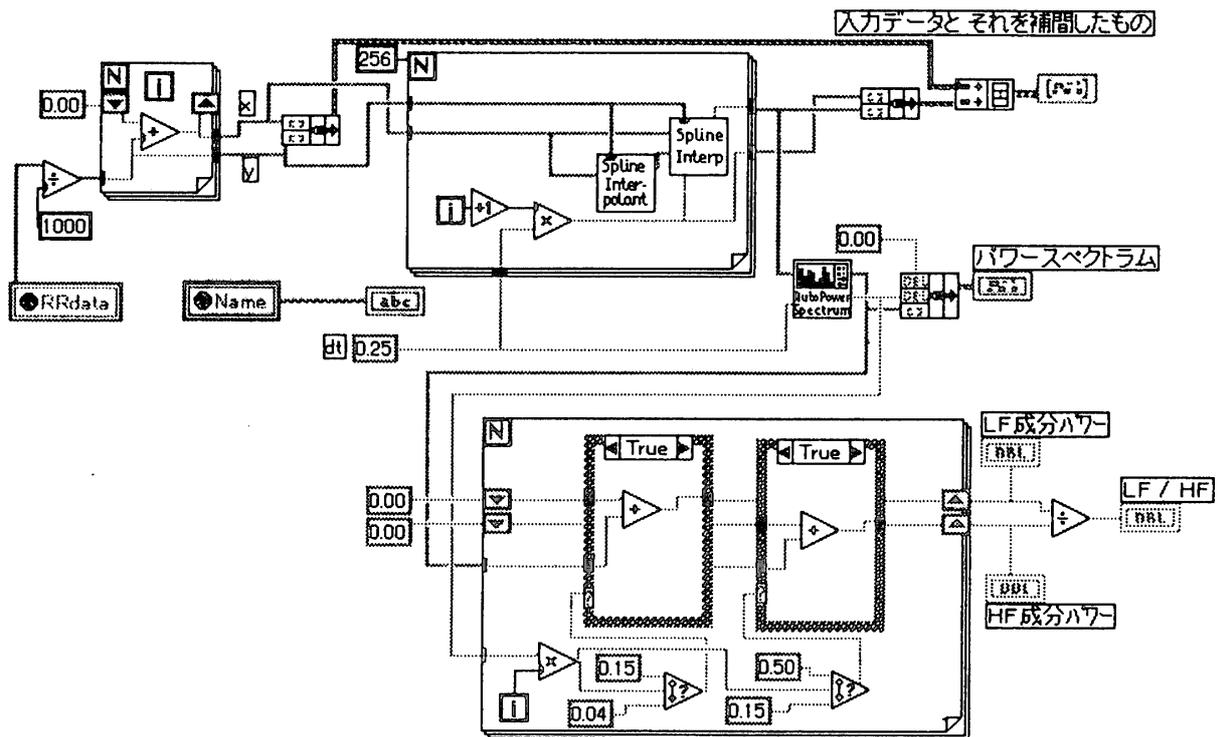


図3. 心拍変動周波数解析プログラムのダイアグラム

グラムを用いた。

1) 利用者の立場からの評価

Web非対応プログラムの方がネットワーク関連のオーバーヘッドが無いためデータ入力から結果を得るまでに要する時間が短いので一人で占有利用できる状況では好評であった。しかし、このプログラムが動作しているコンピュータでは他の作業（日常業務、プログラムの開発・修正、メンテナンスなど）が行われているため、順番待ちを強いられることがしばしばあった。

今回開発したWeb対応プログラムではこうした問題は生じない。問題はネットワーク対応にすることによって生じるオーバーヘッドである。オーバーヘッドの大きさを知るため各サブプログラムの実行時間を計測した。心拍変動解析プログラムを一回実行するのに要する時間は0.114秒でWeb非対応プログラムと差は無い。クライアントから送られたデータストリームを解釈し、必要なHTTP文書を作成するCGIプログラムの実行時間は0.07秒であった。一方、解析結果を表わすフロントパネルのイメージを取得・圧縮してJPEG画像データ（約45Kbyte）

を作成する時間は0.293秒、それをネットワークへ送り出すにはネットワークの伝送速度や混雑具合に依存するが、少なくとも1秒程度を要した。こうした測定結果から、少なくとも1～2秒のオーバーヘッドがWeb対応化により発生することがわかった。

実際に学内LANで直接繋がっているコンピュータをクライアントとして作業したところ、測定データを送ってから結果を得るまでに数秒待つ必要があった。しかし、この程度の待ち時間ならば全くストレスを感じることなく利用することができた。また、当然ながらクライアントのコンピュータがマッキントッシュやUNIXマシンであっても同じように利用できるため、ユーザは自室で使いなれた自分のマシンを用いて解析が行えた。

学外から電話回線を経由して利用する場合には画像データを送付するのに要する時間がさらに長くなった。神戸大学のダイヤルアップサーバーを介して28.8Kbpsのモデムで接続した状態でデータを入力し終わってから結果が表示されるまでの時間を測定したところ約30秒であっ

た。しかし、これでもデータを入力したり結果を印刷する時間に比べると十分に許容できる範囲であり、実際に自宅や学外の病院からアクセスして多くのデータ解析を行うことができた。ある夜のログによると22時41分から23時12分までに30回のデータ解析がなされており不満の申し立ては無かった。

複数の者が同時に解析をしようとする状況では若干の問題が生じた。すなわち、タイミングによっては古いデータや他人が送付したデータの解析結果が表示される場合があった。これは、HTTPがもともと接続状況を保持しない（ステートレスな）プロトコルであるうえフロントパネル更新とパネル画像データ取得のタイミングが同期していないためであった。この問題へは誰からのデータかを示すIDをパネルに表示することで現在は姑息的に対応している。将来的にはcookieと呼ばれる手法を用いるなどしてクライアント情報をサーバー側で保持し、無用な混乱を避けられるようなプログラムに改良する予定である。

2) プログラム開発者の立場からの評価

当初は常時データ解析が行えるよう複数のコンピュータにWeb非対応プログラムを導入しようとしたが次の問題が生じた。a)ハードディスクの空き領域を100MByte以上も必要とするLabVIEW開発システムをインストールする必要がある。b)ライセンスの関係から今回使用した開発システムは一台のコンピュータでしか動作させられないので追加ライセンスを購入するか実行プログラムを作成するためのアプリケーション作成ソフトを別途購入する必要がある。c)学生が自宅で利用したり、共同研究している病院などで利用することを考えるとかなりの台数にプログラムをインストールする事になるが、それらが常に同一のバージョンであるように保つのは極めて困難である。

こうした問題は本システムのように一台のサーバー上で動作しているプログラムをネットワーク経由で利用する形態にすることで解決できた。プログラム作成に際しては本来の心周期変動周

波数解析に関する部分の作成に要した時間よりネットワーク関連のコード作成に要した時間の方が長いくらいであったが、上述の問題を解消するためのコストとしてなら受け入れられる程度であった。また、ネットワークを通じてプログラムの仕様を討論し、その結果を直ちに示すことができるので能率良くプログラム開発が行えるのも本システムの利点であった。

考 察

心拍変動の解析を行うことで自律神経系の機能を評価できる。しかし測定のプロトコルや判定方法は報告によってまちまちであり、未だ日常の診断に応用されるには至っていない。また通常のRR間隔の測定に加えスペクトル法を用いて解析すれば、臨床的にさらに有用な情報がえられる。例えばBeggerらは³⁾心筋梗塞後の死亡の危険性に対して、心拍変動の超低周波成分が最も高い予測能をもつことを報告している。従って梗塞後の危険性を評価するにはRR間隔の測定他にスペクトル解析によって超低周波成分の評価も必要であろうと考えられる。また糖尿病患者の自律神経障害評価においてもスペクトル解析による高周波成分の低下が他の臨床症状より早期に認められるとの報告⁴⁾もなされている。これら事実を考え合わせると、スペクトル解析の一般施設での導入が必要と考えられる。そのため今回我々はWeb対応心拍変動解析プログラムを作成した。

周波数分析には補間処理やフーリエ変換のような数学的処理が欠かせないが一般に使われているほとんどの表計算ソフトはそうした機能を備えておらず、必要な処理を行うプログラムを独自に作成する必要がある。さらに、共同研究においては作成したプログラムを関係者へ配布せねばならない。ところが、研究の初期にはプログラムの仕様が確定しておらず、頻繁に改変が行われるのが常である。また、しばらく試用する過程でユーザインターフェースなどに関する改善要求が多く提出される。こうして改変が

行われるたびに新バージョンを全てのユーザへ配布するのは大変な作業であるが、今回我々が作成したシステムでは全く不要となった。

従来のようにプログラムを共同研究者へ配布する場合、ソフトが入ったフロッピーディスクのような媒体を渡すだけでは済まず、インストール方法や使用方法を記したマニュアルを作成するか、開発者が外向いてインストール作業を行い説明する必要があった。ところが、本システムではクライアント側でのインストール作業は不要であり、使用法、動作原理などの説明はリンクしたページ上に掲載されているのでマニュアル等も不要であった。実際、学生達が試用を開始する際には使用法を特に説明しなかったが、全員Webブラウザソフトを使用した経験があったのでURL(<http://fn90.ams.kobe-u.ac.jp/>)を伝えるだけですぐに利用を始められた。

このように本システムは実用上問題無いことが判明したので、現在これを利用して活発に研究が進められている。将来はもっと多様な解析が行えるようプログラムライブラリーを拡充し、順次ネットワーク上に公開してゆくつもりである。

参考文献

1. Akselrod S, et al. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation; A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science* 213:220-222, 1981
2. Kleiger RE, Miller JP, Bigger JT Jr, et al. Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction. *Am. J. Cardiol.* 59:256, 1987
3. Bigger JT Jr, Fleiss JL, Steinman RC, et al. Frequency domain measures of heart period variability and mortality after myocardial infarction. *Circulation* 85:164, 1992
4. Freeman R, et al. Spectral analysis of heart rate in diabetic autonomic neuropathy;

A comparison with standard tests of autonomic function. *Arch. Neurol.* 48:185-190, 1991

Development and Evaluation of Web-Based Analyzing System for Heart-Rate Variability Study

Hiroshi Ando,¹ Naomi Takimoto,¹ Kaori Nishimoto,¹ Masako Hazeyama,¹
Masayo Hori,¹ Kimiko Kitano,¹ and Hideyuki Shiotani¹

ABSTRACT: Heart-rate variability has been used as an important marker of the autonomic functions. However, knowledge of computer programming is required for conducting the spectral analysis of heart-rate variability. To overcome such an obstruction, we developed a web-based analysis program. Our system can be used by those who know how to operate a web browser such as Netscape Navigator and Internet Explorer. The user accessed our server site (<http://fn90.ams.kobe-u.ac.jp/>) and received the data-input form by their web browser. The user filled in the form with a series of R-R interval values and submitted to the server. At the server side, spectral analysis of heart rate variability was performed and a JPEG-compressed image file consisting of graphs of power spectrum and some numeric indexes for diagnosis is generated. At the client side, the browser displayed the image file. The overhead arising from communication was 3 to 30 seconds depending on the data transfer rate. To evaluate the usefulness of our system, we test operated the system. A remote user who accessed the server through telephone line could analyze the data for 30 times within a period of 30 minutes. It indicates that the communication overhead is acceptable and our system can satisfy the remote users.

Key Words:Heart rate variability,
Spectrum analysis,
Internet,
Web browser,
Computer network.

1. Faculty of Health Sciences, Kobe University School of Medicine.