

# 远程多生理参数监护系统通信协议的研究

周炳坤, 张跃, 徐廷松

(清华大学深圳研究生院, 深圳 518055)

**摘要:** 根据移动通信网络中多生理信号的传输要求, 修改远程心电监护系统原有通信协议的数据结构、数据补发机制和数据同步机制, 提出一种新的适用于远程多生理参数监护系统的通信协议。该通信协议已在远程无线多生理参数实时监护系统中得到应用, 实验表明其能满足多生理参数监护仪和监护服务器间的通信要求。

**关键词:** 远程监护; 多生理参数; 通信协议; 网络管理

## Research on Communication Protocol of Remote Multiple Physiological Parameter Monitoring System

ZHOU Bing-kun, ZHANG Yue, XU Ting-song

(Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, Shenzhen 518055)

**【Abstract】** This paper analyzes the communication requirements of multiple physiological signals in mobile network, and proposes the communication protocol for the remote multiple physiological parameter monitoring system. The protocol is based on the communication protocol for remote ECG monitoring system, and the data structures, re-transmission and synchronization parts of the original protocol are modified. The protocol has been applied in the remote wireless multiple physiological parameter real-time monitoring system, and experiments prove that it fulfills the requirements of the data transmission between the monitor and the server.

**【Key words】** remote monitoring; multiple physiological parameter; communication protocol; network management

### 1 概述

近年来, 清华大学嵌入式系统与技术实验室致力于“远程无线多生理参数实时监护系统”<sup>[1]</sup>的研究与开发, 以实现对患者心电信号(ECG)等生理信号的远程监测和护理。至今已搭建起一个融合GPRS/CDMA移动通信技术、数据库、心电信号处理、PDA移动计算技术于一体的监护系统, 在初步临床实验中表现良好。

心电、血压、呼吸、血氧饱和度和体温这5大生理参数是人体最重要的生命指征。对患者进行多生理参数的检测有助于正确判断患者的病情及用药效果, 有利于及时有效地治疗患者、挽救其生命。但是传统的床头多生理参数监护设备采用有线连接方式, 极大地限制了患者的活动范围, 还会造成医院人满为患、治疗费用昂贵等问题。远程多生理参数监护系统的出现使用户可以随身携带监护仪进行生理参数的采集, 并通过移动通信网络把数据传输至监护服务中心进行分析, 使医生能够实时掌握患者的情况, 若患者发生险情, 立即通知家人和派车抢救。

国外自20世纪90年代中期2G数字移动网络投入运营起就开始研究如何将移动通信技术应用于远程医疗<sup>[2]</sup>, 但是移动通信网络通信协议方面的研究并不多。目前在医疗数据方面已有多种传输交换协议, 如HL7, SCP-ECG, IEEE 1157, 但无法同时满足移动通信网络的数据传输特点和多种生理参数同时监护的要求。多生理参数信息的标准化是未来的趋势, 对生理信号信息的传输、存储、共享、管理有着重要的意义。笔者于2006年4月起草完成了“计算机心电信息标准化通信协议(草案)”<sup>[3]</sup>, 国家标准局已正式批准对此立项研究。但是

多生理参数通信协议方面的标准还没制定, 本文为填补这方面的空缺, 提出了一种适用于移动通信网络的多生理参数数据传输通信协议。

### 2 远程多生理参数监护通信协议的分析

多生理参数监护仪通过移动通信网络接入Internet, 可以与位于医院的实时监护服务器建立连接, 实现双方的通信。根据移动通信网络和生理参数信号传输的特点, 通信协议需要考虑如下几点:

(1)实时性。远程多生理参数监护对生理信号的传输具有较高的实时性要求。较小的时间延迟有利于监护中心对患者病情的实时掌握和抢救措施的快速采取。

(2)正确性和完整性。由于移动通信网络的特点, 在数据传输过程中不可避免地会出现丢包和误码, 因此需要增加CRC校验以保证每个接收到的数据包的正确性, 并提供数据补发机制保证接收数据的完整性。

(3)连续性<sup>[4]</sup>。生理数据的显示需要保证一定的连续性, 必须克服TCP/IP协议的抖动问题<sup>[5]</sup>, 即发送方以相同时间间隔发送数据时, 接收方会在不同时间间隔里收到数据。因此, 需要在接收端设置合适的缓冲区。缓冲区一方面从网络中不断接收数据, 另一方面定时向分析显示模块提供数据。

(4)同步性。多个生理信号的同步显示有助于医生更方便准确地诊断病情, 因此, 需要跟据各个生理信号数据的索引

**作者简介:** 周炳坤(1981-), 男, 硕士研究生, 主研方向: 嵌入式系统及其在医疗设备中的应用, 心电信号处理; 张跃, 副教授、博士; 徐廷松, 硕士研究生

**收稿日期:** 2007-10-10 **E-mail:** zbk@mails.tsinghua.edu.cn

编号确定其采集时间，只有在该时刻的所有信号到达后才对其进行分析显示。

(5)可移植性。通信协议要尽量与硬件无关，可方便移植到其他平台上运行。

以上各点中的一部分是互相制约的，在设计协议时要兼顾考虑。比如数据的实时性和完整性，移动通信网络提供的带宽有限，并且延迟较大，为保证数据完整性而实施数据补发必然会影响正常的实时数据发送，使实时性降低。

### 3 远程多生理参数监护通信协议的设计

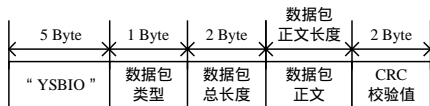
本通信协议是在笔者已经完成的远程心电监护通信协议<sup>[1]</sup>的基础上修改扩充后提出的，重点修改了原有协议的数据格式、数据补发机制以及数据同步机制。

#### 3.1 数据格式定义

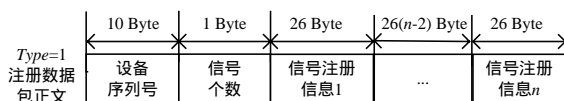
协议的数据格式包括：监护仪发送给监护服务器的数据和消息，监护服务器发送给监护仪的消息，紧急报警消息。

##### 3.1.1 监护仪至监护服务器方向的数据结构

监护仪至监护服务器方向的数据结构分为 3 种类型：注册数据包，生理信号数据包，异常通知数据包。三者结构相同，以字符串 YSBIO 起始，之后是数据包类型、数据包总长度、数据包正文、CRC 校验值，结构如下：



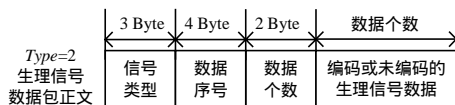
注册数据包的类型为 1，数据包正文部分包含的信息有设备序号、信号个数、各个生理信号的注册信息。结构如下：



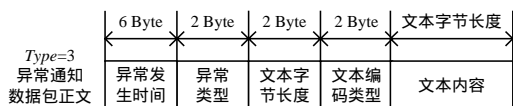
信号注册信息部分包含信号类型、导联数目、采样位数等软硬件基本信息。结构如下：



生理信号数据包的类型为 2，用于监护仪与监护服务器建立连接后向其传输生理信号数据。数据包正文部分包含：信号类型，数据序号，数据个数，未编码或编码后(由压缩方法决定)的生理信号数据。结构如下：

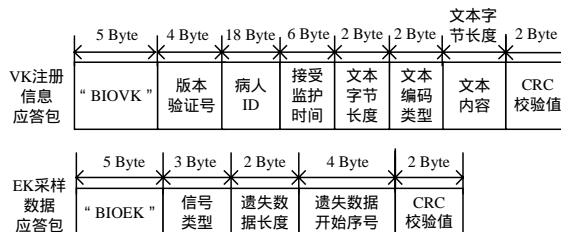


异常通知数据包的类型为 3，用于向服务器通知监护仪及用户的各种状态，比如导联脱落及恢复、电量不足报警、监护仪硬件错误、关机报警。数据包结构包含异常发生时间、异常类型及描述性文本等，结构如下：



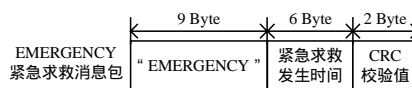
##### 3.1.2 监护服务器到监护仪方向的数据结构

监护服务器到监护仪方向的数据包用于各种消息的回应和补发数据的申请，分为 BIOVK 和 BIOEK 2 类。BIOVK 数据包用于监护服务器接受监护仪的连接后向监护仪发送确认信息，结构中包括监护服务器的软件版本号、病人 ID、监护服务被接受的时间以及病人紧急联系人的联系方式等信息。BIOEK 数据包用于监护服务器收到生理信号数据后向监护仪发送回应消息，如果发生丢包，则往包里写入丢包的信号类型、丢失数据的长度和起始点序号。结构如下：



##### 3.1.3 紧急报警消息

紧急报警消息用于病人发生病危情况的紧急求救通知，以及监护服务器接收到求救后的响应。紧急报警消息结构以 EMERGENCY 起始，后接紧急求救发生的时间。结构如下：



#### 3.2 通信流程

监护仪和监护服务器的通信过程分为注册阶段、监护阶段和注销阶段，如图 1 所示。

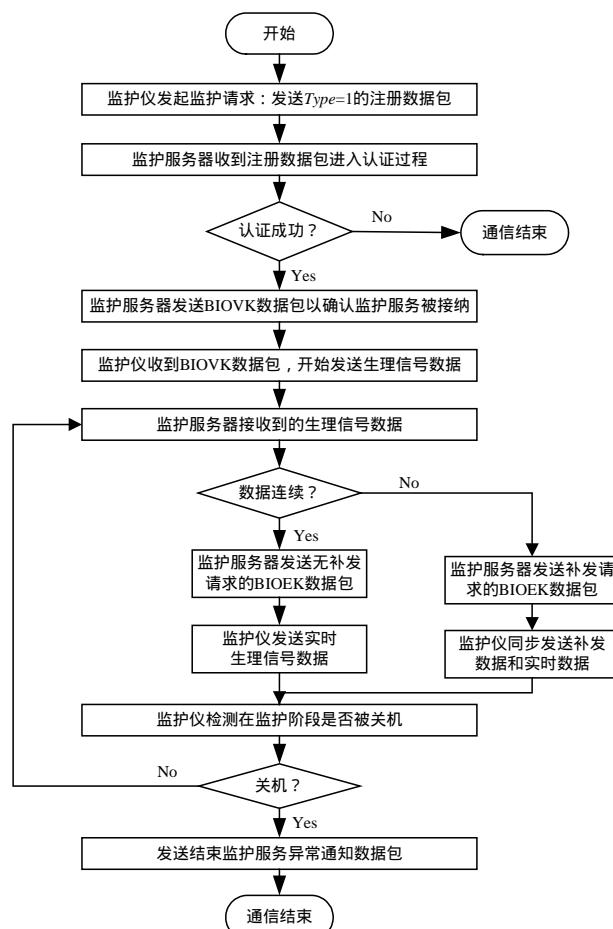


图 1 远程多生理参数监护通信流程

注册阶段是监护仪向监护服务器申请注册监护服务的过程。监护仪的硬件启动后向监护服务器发送注册信息包,监护服务器通过查询数据库验证用户的合法性,若为合法用户,则向监护仪发送 BIOVK 数据包,建立起监护服务。

在监护阶段,监护仪向监护服务器发送生理信号数据,包括实时采集到的数据和监护服务器使用 BIOEK 数据包申请的补发数据。移动通信网络具有误码率高和延时大的特点,会导致数据包在传输过程中丢失或者出现误码,在监护服务器端都会表现为丢包。补发机制保证了数据的完整性。

在注销阶段,监护仪在关机之前需要向监护服务器发送异常通知数据包,通知监护服务器结束对其的监护服务。

### 3.3 数据补发机制

本协议对远程心电监护通信协议的补发机制进行了改进,使其更适用于移动通信网络环境。在远程心电监护通信协议中,监护服务器维护的补发数据列表定时向监护仪发送补发窗口长度的补发数据请求,因此,不能对整个通信链路的网络变化状况作出响应,容易造成监护仪重复发送补发数据的现象,如图 2 所示。

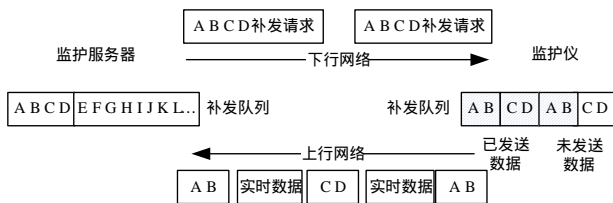


图 2 原数据补发过程示意图

因此,在监护服务器端增加了一个重复队列,记录监护仪重复发送过来的补发数据,用于确定补发数据的时间间隔,如图 3 所示。

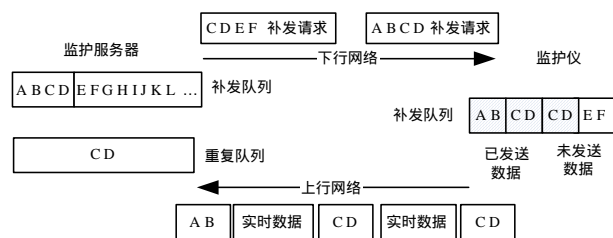


图 3 改进后的数据补发过程示意图

从图 3 中可以看出,监护仪端维护的数据补发队列采取先来先服务(FIFO)的处理方式,且补发队列长度固定,过多的补发请求将被丢弃。设该队列中补发数据的最大长度为  $2p$ ,监护仪每  $0.5\text{ s}$  向监护服务器发送  $p$  个数据。为维护数据的实时性,监护仪在  $1\text{ s}$  内分别发送  $p$  个实时数据和  $p$  个补发数据。监护服务器一次发送的最大补发请求的数据个数(即监护仪端的补发队列长度)为  $q$ 。可根据下式确定监护服务器发送补发请求的时间间隔:

$$t_{\text{发送间隔}} = \begin{cases} c & n = 0 \\ 2n + m + c & 0 < n < q \\ 2q + m + c & n = q \end{cases}$$

其中,  $n$  为监护服务器的补发队列长度;  $m$  为重复队列中补发数据的个数;  $c$  是由监护仪定义、由自动重连时间决定的常数,如取 20。

### 3.4 数据同步机制

远程多生理参数监护需要同步分析和显示多种生理信号。为实现数据同步,先要根据各个生理信号数据包中的数

据序号精确确定每个数据包所对应的采样时间。在监护服务器端,要求只有在某时刻所有生理信号数据都已到达才对其进行分析和显示。为缩短同步等待时间,尽量把同一采样时间的不同生理信号数据封装在同一个数据包中。但由于各采样模块采样频率和处理速度不一致,导致数据不同步现象,因此要求优先发送滞后最多的生理信号数据。

## 4 协议的实现及实验结果分析

在笔者研制的多生理参数监护仪和监护服务器上实现了本通信协议。监护仪使用了中兴通信公司的 MG815A CDMA 通信模块,监护服务器通过广东电信的 ADSL 出口直接连接 Internet。实验结果表明,本通信协议满足了移动通信网络环境下远程多生理参数监护的要求。

(1)实时性。实时性的测试方法是在经时间校对后的监护仪和监护服务器上统计每个数据包的延迟时间。在正常监护状态下,监护仪以固定的时间间隔发送生理参数数据包,图 4 给出了延时时间的分布情况。从图 4 中可以看出,延迟时间绝大部分在  $25\text{ s}$  之内,可以满足实时性要求。

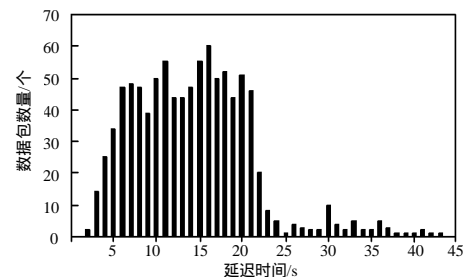


图 4 延迟时间的分布

(2)正确性。正确性可以通过 CRC 校验出错的频率得到验证。在非繁忙时段,CRC 校验失败的频率较低,平均每半小时出现 1 次;在繁忙时段,平均  $2\text{ min} \sim 3\text{ min}$  就会出现一次 CRC 校验失败。

(3)完整性。生理信号数据经无损压缩后,采样带宽约为移动通信网络带宽的  $60\% \sim 80\%$ ,可以满足数据补发的要求。在实验中发现,采用改进的数据补发机制使数据补发响应更迅速,重复的补发数据明显减少。

(4)连续性和同步性。使系统在不同时段运行以测试其连续性和同步性。无论是否在繁忙时段,生理参数的波形都能在屏幕上同步显示,同步性得到验证。在非繁忙时段,由于带宽较大,网络延时小,丢包的数量少,波形能一直流畅地显示,但是在繁忙时段,由于丢包数量明显增多,波形可能出现不流畅的现象。连续性和实时性是一对矛盾,若要求有较高的实时性,可减小接收缓冲区的长度,接收到数据后很快对其分析显示,但这会使显示的连续性变差。

### 参考文献

- [1] 李继明. 监护仪嵌入式软件系统的设计与实现[D]. 北京: 清华大学, 2006.
- [2] 丁明石, 吕扬生. 采用移动通信技术的远程医疗研究进展[J]. 医疗设备信息, 2003, 18(12): 29-32.
- [3] 清华大学深圳研究生院, 深圳市岩尚科技有限公司. 计算机心电信息标准化通信协议[Z]. 2007.
- [4] 张 巍. 生命信号随身检测协议的研究与实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
- [5] 廉世俊, 胡大克. 基于 TCP/IP 协议的多床位多参数中心监护系统[J]. 中国医疗器械杂志, 2000, 24(2): 36-42.