

# 基于多 Agent 技术的分布式 变电站远程视频监控系统研究

黄 为<sup>1</sup>,黄慧汇<sup>1</sup>,杨天武<sup>2</sup>,陈维荣<sup>1</sup>

(1. 西南交通大学 电气工程学院,四川 成都 610031;

2. 西南交通大学 计算机与通信工程学院,四川 成都 610031)

**摘要:** 针对传统变电站多媒体监控系统在灵活性、可扩展性等方面的不足,引入智能 Agent 技术,建立了基于 Multi-Agent 的分布式多媒体监控系统模型。该模型将传统监控系统的功能划分入不同的 Agent 工作组,通过各 Agent 之间基于消息机制的通信与协作实现恶劣条件下视频流的鲁棒传输,并使系统具有感知性、主动性和自适应性。分析了系统结构与工作原理,给出了 Agent 的功能模型,并对模型中数据压缩组和错误控制组中所分别采用的自适应快速运动估计算法及精细运动矢量场差错掩盖算法进行了介绍。分析表明,该模型的视频压缩和传输策略可随系统结点数目和通信模式的变化而动态调整。

**关键词:** 视频监控; 多 Agent; 运动估计; 差错掩盖

**中图分类号:** TP 87; TM 73

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-6047(2005)04-0001-05

## 0 引言

近年来,随着变电站自动化技术和多媒体技术的不断发展,“遥视”已经成为变电站自动化的重要功能之一,多媒体远程监控系统也已经在变电站监控中得到广泛应用<sup>[1~3]</sup>。但传统变电站远程视频监控系统一般采用 C/S(Client/Server)模式和专用监控软件,存在一些不足:灵活性和可扩展性较差,难以增加新的功能,难与上层 SCADA 系统与 MIS 系统进行接口,系统监控结点也无法动态增减;可协作性差,各监控结点间毫无联系,只由中心结点控制,随着监控结点的增加,势必大量增加服务器负担;各监控结点信道条件、经济状况、对视频质量的要求和通信条件各不相同,却采用统一通信方式,资源浪费严重且难以更改。

分布式人工智能 DAI(Distributed Artificial Intelligence)技术主要研究如何并行地、相互协作地对逻辑上或物理上分散的智能系统问题求解,为解决上述问题提供了一条有效途径。分布式人工智能分为两个研究领域,即分布式问题求解(DPS)和多智能实体系统(MAS)。其中,MAS 主要研究智能体行为的协调,在一群自治的智能实体(Agent)之间如何通过协调它们的知识、目标、技能和相互规划采取行动或解决问题<sup>[4]</sup>。DAI 在现代电力系统中的应用也主要集中于多 Agent 技术。

本文针对铁路监控系统信道特点及变电站分布的实际情况,提出一种基于 Multi-Agent 的分布式变

电站多媒体监控系统模型。该模型以 Multi-Agent 技术为核心搭建“松散耦合”的系统体系结构,将传统监控系统的功能划分入不同的 Agent 工作组,通过各 Agent 之间基于消息机制的通信与协作实现恶劣条件下视频流的鲁棒传输,使得系统具有感知性、主动性和自适应性。

## 1 系统结构与工作原理

系统模型如图 1 所示。整个系统由远程监控单元、视频控制中心和客户端 3 个主要部分组成。远程监控单元将采集到的各个变电站实时视频数据压缩传输至视频控制中心;视频控制中心可根据网络资源状况对实时视频流信息和各种控制信息进行调度和控制,并对多个客户端的连接和服务质量 QoS(Quality of Service)请求进行相应处理;客户端采用浏览器连接视频控制中心,查看各监控前端的视频图像。

模型中共设计了 7 种不同类型的 Agent,它们分别是:数据压缩组 DCG(Data Compressing Group),数据解压组 DDG(Data Decompressing Group),控制服务组 CSG(Control Server Group),差错控制组 ECG(Error Control Group),用户服务组 USG(User Server Group),远程监控组 MCG(Monitor Control Group)和网络服务组 NSG(Net Server Group)。下面说明各 Agent 工作组功能。

**a. DCG Agent** 是专门负责对现场采集数据用特定视频编码标准如 H.264/AVC 进行高效实时压缩,并接收来自 MCG 的消息动态调整压缩比特率与压缩速度。

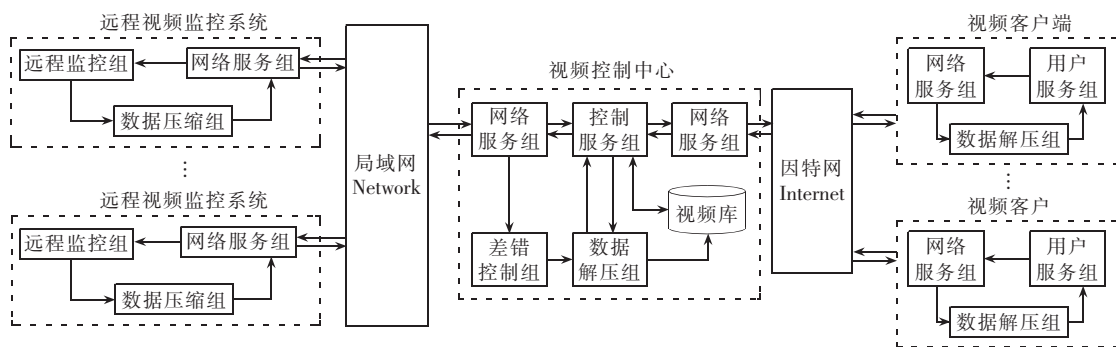


图 1 基于 Multi-Agent 的分布式变电站多媒体监控系统模型

Fig.1 The distributed substation monitoring system model based on Multi-Agent

b. DDG Agent 是对接收的数据包进行解码,并将解码的实时视频流在视频数据库内进行存储。

c. CSG Agent 是视频控制中心的核心部分,一方面监控网络资源状况,对实时视频流进行调度,对各种控制信息进行管理,并响应用户查询消息转发相应的数据包。

d. ECG Agent 是当铁路信道受电气化干扰严重易产生误码或丢包时,ECG 针对产生的差错调用相应的差错控制算法,对视频差错进行抑制,防止差错扩散,修复受损视频数据。后面给出一种差错掩盖技术的具体算法。

e. USG Agent 可实现对客户端的权限与优先级的管理,用户通过它向服务器发出登录、离开或更改优先级等信息,并向服务器查询用户权限。

f. MCG Agent 是远程监控单元的核心部分,控制各种监控设备,并同 NSG 与 CSG 交互进行视频传输;监视监控点异常情况,发生报警时立即发送指定消息并通知用户采取相应措施。

g. NSG Agent 是针对不同的网络传输模式进行视频流和消息命令的网络传输,并与其他 Agent 进行交互,及时评估网络状况,动态调整发送帧率,保证数据传输的有效性。

如果需要增加远程监控单元结点,只需调整该单元的 NSG 为适合于该变电站的通信模式,并加入此结点的消息-行为映射表即可。如其网络模式发生改变,也只需调整该单元的 NSG 为适合于该变电站的通信模式。客户端查询视频图像时,USG 首先会对客户端身份和权限确认,然后通过 NSG 连接至视频控制中心。视频控制中心接到用户消息后,根据消息-行为映射表对消息进行解析,然后转换成相应行为,如转发对应远程监控单元视频数据包供客户查看,或在视频数据库中查询相应报警视频数据返回给客户端等。

## 2 主体适应性的 Agent 功能结构模型设计

查询和操作语言 KQML<sup>[5]</sup>(Knowledge Query and Manipulation Language)是一种用于交换信息、知识的语言和协议,为表达消息和处理消息提供了标准格式,是当前面向 Agent 应用的最为广泛的 Agent 通信语言。它包含了一系列可扩充的行为原语(perfor-

mative),定义了 Agent 对知识和目标的各种操作,可非常方便地建立 Agent 互操作的高层模型。本文以具有主体适应性的反应型 Agent 为指导,充分考虑多主体并行及协调与协作等特点,采用 KQML 设计了系统 Agent 的功能模型,如图 2 所示。

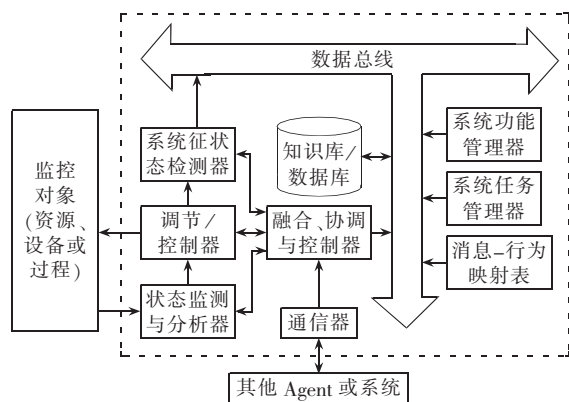


图 2 Agent 功能结构模型

Fig.2 The universal Agent functional module

监控系统中各 Agent 都从该模型中派生出来,不同的是各 Agent 都有自身的功能管理器、任务管理器及消息-行为映射表。系统运行时,首先会初始化各 Agent 的功能管理器和消息-行为映射表,然后将该 Agent 模型实例化,最后开启该 Agent 的任务管理器,开始各 Agent 工作任务。此时,各 Agent 就会在监控系统中作为一个独立的进程开始工作,并通过通信器与其他 Agent 进行交互。各 Agent 内部的状态检测器通过时间管理模块保持事件与消息的同步。

Agent 内部的状态监测与分析器对该 Agent 的监控对象(资源、设备或过程等)进行实时监测和分析,并将分析结果提供其融合、协调与控制器。融合、协调与控制模块是整个 Agent 的核心部分,其所有自主性决策均由此模块产生,其内部的推理机会对获取信息进行融合推理,同时,模块内部具有自学习功能的神经网络,可通过学习增加知识库内的知识。充分体现了 Agent 系统的主动性和自适应性。系统监控任务是并行执行的,当 Agent 工作任务与其他 Agent 行为发生冲突时,通过融合、协调与控制模块可进行有效的控制和协调。该模块通过查询系统知识库获取相应行为,并控制调节与控制模块执行相应命令,对监控对象实时调节。Agent 的通信器接

收到来自其他 Agent 的任务消息后,通过融合、协调与控制器查询消息-行为映射表获取相应的行为并执行。如系统需要动态加入新的功能,可通过设置该 Agent 的任务管理器与消息-行为映射表,将该 Agent 模型实例化并激活系统任务管理器实现。这种采用对象组件的最大优势在于程序的模块化,程度开放性互操作性非常强,同时利于软件的更新移植和重用。

### 3 多 Agent 之间的消息通信机制与协调策略

Multi-Agent 系统的核心是多个 Agent 之间的有效通信和事件同步机制。传统 Multi-Agent 系统采用黑板<sup>[4]</sup>通信方式。黑板提供公共工作区交换信息、数据与知识。由于实际情况是变电站的分布较广,数量较多,如采用黑板会导致数据量的急剧增长,使系统效率降低。同黑板相比,消息通信方式提供了更为灵活的通信能力,且不受简单命令和响应结构的限制,所以被本模型采用。Agent 的消息通信机制如图 3 所示。

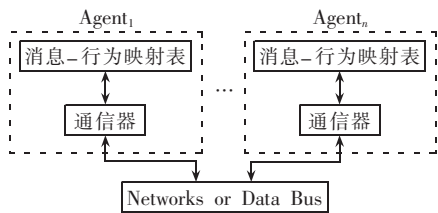


图 3 Agent 的消息通信机制

Fig.3 Communication and collaboration among Agents

从图 3 中可以看到,监控系统中每个 Agent 工作组都建立了与其自身功能管理器相对应的消息-行为映射表。当消息流在数据总线或网络上传输时,各个 Agent 将各种数据总线与网络上的消息与自己的消息-行为映射表进行匹配,只有符合自身标准的消息才能被接收并解析。这样,Agent 能够响应的输入消息类型对自身行为进行分类组织,通过消息-行为映射表维护其消息-行为准则,使该 Agent 其所有行为的产生都源于对输入消息的触发,能从自身行为集中寻找到相应的正确行为并执行。

对于系统中存在的共享公共资源如设备访问接口、内存缓冲区、网络资源等,在使用之前必须先申请该资源使用权限,如资源未被其他 Agent 占用则可以使用;否则便要等待至其他 Agent 放弃该资源使用权限。这个独占式共享协调策略可保证多个 Agent 协调工作不至产生共享冲突。

### 4 ECG 与 DCG 中的关键实现技术

远程监控系统中有 DCG,DPG,NSG 3 种 Agent,这 3 种 Agent 协同工作,将现场视频数据压缩、打包并传输至视频控制中心。由于变电站通信条件较为恶劣,受电气化干扰严重,当视频码流在通信信道上进行视频传输时,不可避免地会产生丢包和误码现

象,由此引起的视频差错会在空间和时间域上迅速扩散,引发解码器端视频图像质量严重下降。而视频控制中心 ECG 的作用正是针对这种现象采用相应差错控制技术,对视频差错进行抑制,防止差错扩散,修复受损视频数据。由于差错掩盖技术具有不降低编码效率,不加大视频传输的网络负担,无需改变视频编码器,不会增加网络延迟等一系列优点而得到了广泛应用<sup>[6]</sup>。ECG 中采用了一种运动矢量插值修复算法(INTR),克服了以往算法(如时域掩盖算法<sup>[7]</sup>和边界匹配 BMA 算法<sup>[6]</sup>)对 H.264 的多种宏块分割模式和精细运动矢量场不适用的缺点,可在丢包发生后对丢失的运动矢量数据修复。

#### 4.1 DCG 自适应运动估计算法

当现场发生报警时,MCG 控制视频图像切换至报警位置并发送消息给 DCG,让 DCG 调整其视频压缩与传输策略,保证视频图像的实时性。而 CSG 收到报警消息则立即切换至当前报警发送站点,并存储报警数据。由于运动估计运算量占整个视频压缩算法运算量大部分<sup>[8]</sup>,所以,提高运动估计算法速度是保证视频传输实时性的有效方法。

DCG 中采用目前最新的 H.264 视频压缩标准<sup>[9]</sup>,另外还引入一种精确可控的自适应运动估计技术。在正常工作模式下,多个远程监控单元的 DCG 都将实时视频数据用精确度高的运动估计算法对视频流压缩并传输至视频控制中心,但是切换至报警工作模式后,便采用实时性好的运动估计算法。在实时性和压缩比之间寻找到平衡,根据当前状态安全级别和系统时延要求动态调整其搜索速度和精度。

该算法是在吸收了钻石搜索良好的方向性与鲁棒性优点的基础上,采用了性能良好的双初始候选运动矢量(MV)集,并以初始预测最佳匹配点作为初始搜索中心,并考虑当前图像活动度较大和较小的多种情况,采用不同的搜索模板进行运动搜索。其中大网格搜索只进行 1 次。动态半径的采用避免了单一模板时浪费搜索点的缺陷,提高了搜索速度,又可跳出局部最小。十字方块搜索<sup>[10]</sup>和小十字搜索均可重复进行直至中心点的 SAD 值最小。

DCG 中的搜索算法 CPFS( $\alpha$ )中, $\alpha$  即与 DCG 此时的工作模式相关,根据 DCG 的安全级别, $\alpha$  取值从 0.01~0.30 不等。随着  $\alpha$  值的提高,搜索点数成倍下降,PSNR 略有下降,如表 1 所示。从表 1 可看出,所提出算法在各种编码情况下均具有良好的搜索性能,速度与精度均强于被广泛采用的 DS<sup>[11]</sup>和 PMV-FAST<sup>[12]</sup>算法,同时具有速度与精度的可伸缩性,在允许视频质量稍许降低时,能成倍提高搜索速度。

#### 4.2 ECG 差错掩盖算法

假设受损宏块为  $M_{i,j}$ ,它与邻域宏块的位置关系如图 4 所示。依据邻域宏块在当前帧中位置的不同,分别编号为  $M_{i-1,j}, M_{i,j-1}, M_{i+1,j}, M_{i,j+1}$ 。由于运动矢量场具有很强的邻域相关性,提出算法 INTR,先根据与当前受损宏块相邻的并正确接收的邻域运动



表 1 不同搜索算法的搜索性能分析  
Tab.1 Performance comparison among different searching algorithms

| 测试序列/<br>各种算法 | Forman(QCIF)<br>/30 帧·s <sup>-1</sup> |       | Forman(QCIF)<br>/10 帧·s <sup>-1</sup> |       | Silent(QCIF)<br>/30 帧·s <sup>-1</sup> |       | Tempete(CIF)<br>/30 帧·s <sup>-1</sup> |       |
|---------------|---------------------------------------|-------|---------------------------------------|-------|---------------------------------------|-------|---------------------------------------|-------|
|               | 平均<br>搜索点                             | PSNR  | 平均<br>搜索点                             | PSNR  | 平均<br>搜索点                             | PSNR  | 平均<br>搜索点                             | PSNR  |
| 全搜索           | 781.00                                | 30.77 | 781.00                                | 29.72 | 781.00                                | 34.82 | 868.00                                | 31.10 |
| TMN8          | 16.20                                 | 30.48 | 21.90                                 | 29.46 | 12.00                                 | 34.81 | 14.90                                 | 31.10 |
| 钻石搜索          | 14.30                                 | 30.47 | 18.00                                 | 29.44 | 12.00                                 | 34.84 | 13.30                                 | 31.09 |
| MVFAST        | 9.19                                  | 30.58 | 14.30                                 | 29.51 | 5.77                                  | 34.81 | 7.61                                  | 31.08 |
| PMVFAST       | 4.77                                  | 30.63 | 7.66                                  | 29.53 | 2.27                                  | 34.82 | 4.66                                  | 31.08 |
| CPFS(0.01)    | 7.78                                  | 30.71 | 11.30                                 | 29.64 | 5.41                                  | 34.85 | 6.68                                  | 31.09 |
| CPFS(0.05)    | 7.78                                  | 30.72 | 11.20                                 | 29.63 | 3.13                                  | 34.84 | 6.69                                  | 31.10 |
| CPFS(0.15)    | 4.39                                  | 30.68 | 7.33                                  | 29.58 | 2.36                                  | 34.87 | 4.26                                  | 31.09 |
| CPES(0.30)    | 2.28                                  | 30.60 | 5.68                                  | 29.52 | 1.88                                  | 34.83 | 2.73                                  | 31.08 |

矢量插值计算  $M_{i,j}$  的 4 个角点运动矢量  $Mv(0,0)_{i,j}$ ,  $Mv(0,3)_{i,j}$ ,  $Mv(3,0)_{i,j}$  和  $Mv(3,3)_{i,j}$ 。计算时,4 个角点处运动矢量都只考虑与其最临近的 2 个正确宏块,而忽略另外 2 个不相邻宏块运动矢量。并加入水平方向和垂直方向的运动权值代入进行迭代计算,然后分别计算与 4 个角点相邻 8 个子块运动矢量,计算方法与角点处运动矢量计算方法相同,不过角点处运动矢量也参与插值。最后,插值计算  $M_{i,j}$  内部核心位置的 4 个  $4\times4$  子块运动矢量值。至此,运动矢量插值修复过程全部完成,就获得了受损宏块所有近似运动矢量。

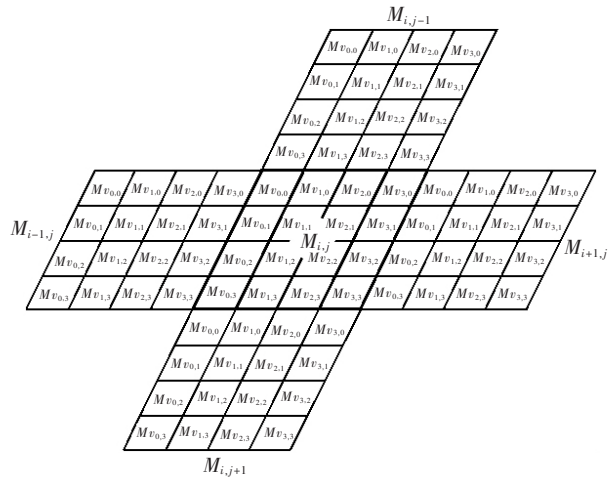


图 4 受损宏块与邻域宏块  
Fig.4 The corrupted MB and its neighbor MBs

实验采用图像片交织(interleaved)封装策略,一帧视频数据打成 2 个实时传输协议 RTP (Real-time Transport Protocol)包,当其中 1 个包丢失时,可用另 1 个包的数据对丢失数据进行有效修复。数据包外层再封装 RFC 2429 RTP 协议,模拟视频在 Internet 环境中的传输<sup>[13]</sup>。

图 5 是 Suzie 序列在第 110 帧发生丢包情况下的各种算法性能比较(图中  $n$  为贴序号)。从图 5 中可以看出,插值时域掩盖(INTR)相比时域掩盖(TR)和边界匹配算法(BMA)方法有较大改进。图 6 是不同丢包率<sup>[14]</sup>条件下各种算法性能比较,实验为运行

50 次求取峰值信噪比(PSNR)均值。从图 6 中可以看出,INTR 相比 BMA 算法极大提高了重建视频质量,最高时可达 4~5 dB,充分说明 INTR 更适用于 H.264 的精细运动矢量场和这种奇偶打包方式。

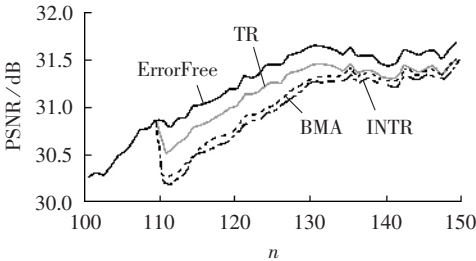


图 5 Suzie 第 110 帧发生丢包  
Fig.5 Comparison of PSNR performance at one package loss in Suzie's 110th frame among different algorithms

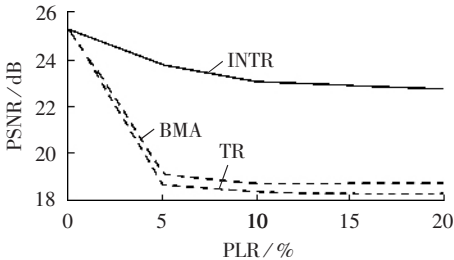


图 6 Suzie 序列在不同丢包率下  
各种算法性能比较  
Fig.6 Comparison of PSNR performance in different package loss rates of Suzie sequence among different algorithms

5 结论

本文针对铁路监控系统信道特点及变电站分布的实际情况,提出一种基于 Multi-Agent 的分布式变电站多媒体监控系统模型,给出了 Agent 的功能模型结构并分析了多 Agent 之间的消息通信机制与协调策略。实际运行表明,该模型可很好解决传统多媒体监控系统的不足,可根据实际情况动态调整其视频压缩与传输策略。另外,模型中各 Agent 都是相对独立的智能实体,能自主完成自身监控任务,同时,在并行工作基础上能够彼此协作,实现对变电站内

运行信息的有效监视和控制,并使系统具有感知性、主动性和自适应性的特点。下一步将对多个 Agent 协调工作全局效率最优化问题展开研究。

#### 参考文献:

- [1] 黄慧汇,何三波,陈维荣,等. 牵引变电站多媒体远程监控系统设计及开发[J]. 电力系统自动化,2001,25(12):45-47.  
HUANG Hui-hui, HE San-bo, CHEN Wei-rong, *et al.* Design and development of remote multimedia monitoring system for traction substation[J]. **Automation of Electric Power Systems**, 2001, 25(12): 45-47.
- [2] HUANG Hui-hui, CHEN Wei-rong, QIAN Qing-quan, *et al.* Implementation of wide area communication in distributed remote video monitoring system for substations[A]. **The 2nd International Workshop on Autonomous Decentralized System**[C]. Beijing: ADS2002, 2002. 294-298.
- [3] PENG Qiang, YANG Tian-wu, CHEN Wei-rong. Error-resilient video transmission for distributed remote video monitoring system [A]. **The 2nd International Workshop on Autonomous Decentralized System** [C]. Beijing: ADS 2002, 2002. 108-112.
- [4] 史忠植. 智能 Agent 及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [5] BIGUS J P, JENNIGER B. Constructing intelligent Agents with Java[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- [6] WANG Yao, ZHU Qin-fan. Error control and concealment for video communication: A review [J]. **Proceedings of the IEEE**, 1998, 86(5): 974-997.
- [7] LAM W M, REIBMAN A R, LIU B. Recovery of lost or erroneously received motion vectors [A]. **Proceedings of ICASSP'93**[C]. Minneapolis, USA: IEEE ICASSP, 1993. 417-420.
- [8] WIEGAND T, SULLIVAN G J, BJONTEGAARD G, *et al.* Overview of the H.264/AVC video coding standard[J]. **IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.**, 2003, 13(7): 560-576.
- [9] ITU-T Rec. H.264/ISO/IEC 14496-10 AVC, Draft ITU-T recommendation and final draft international standard of joint video specification[S].
- [10] YANG Tian-wu, ZHU Chang-qian, PENG Qiang. A controllable predictive cross-diamond fast search algorithm for block matching motion estimation [A]. **Proceedings of the Fourth International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies**[C]. Beijing: IEEE IWADS, 2003. 821-824.
- [11] ZHU S, MA K K. A new diamond search algorithm for fast block-matching motion estimation in video coding [J]. **IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.**, 1996, 6(4): 419-423.
- [12] TOURAPHIS M, AU O C, LIOU M L, *et al.* Predictive motion vector field adaptive search technique (PMVFAST)—Enhancing block based motion estimation[A]. **Proceedings of Visual Communications and Image Processing** [C]. San Jose, CA: IEEE Proceedings of SPIE, 2001. 883-892.
- [13] WENGER S. Common conditions for wire-line, low delay IP/UDP/RTP packet loss resilient testing[R]. CA, USA: ITU-T Video Coding Experts Group, 2001.
- [14] WENGER S. Error patterns for Internet video experiments[R]. New Jersey, USA: ITU-T, 1999.

(责任编辑: 汪仪珍)

#### 作者简介:

黄 为(1980-),男,湖北公安人,博士研究生,研究方向为电力系统及其自动化(E-mail: ieyer@xinhuanet.com)。

### Research on multi-agent based remote distributed substation video monitoring system

HUANG Wei<sup>1</sup>, HUANG Hui-hui<sup>1</sup>, YANG Tian-wu<sup>2</sup>, CHEN Wei-rong<sup>1</sup>

(1. Inst. of Electrification & Automation, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. School of Computer & Communication Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** In order to overcome the shortcomings of traditional substation video monitoring system in flexibility and expandability, a model of remote distributed video monitoring system based on multi-agent is proposed. The functions of traditional systems are divided into different agent work groups. The communication and collaboration among agents realize the robust communication of video transmission with initiative, adaptability and apperception. The systematic structure and operating principle are analyzed and the universal agent functional module is presented. The controllable predictive fast search algorithm for block matching motion estimation adopted in data compression group and the motion vector recovery algorithm adopted in error control group are demonstrated. Analysis results show that the proposed model changes its strategy of video compression and communication dynamically according to actual situation.

**Key words:** video monitoring; multi-agent; motion estimation; error conceal