

文章编号: 1004-7271(2007)05-0509-04

· 研究简报 ·

基于图像处理技术的生物反应器浓度检测系统的开发

许哲¹, 陈洪武¹, Hak Kyeong Kim², Sang Bong Kim²

(1. 上海水产大学工程学院, 上海 200090; 2. 釜庆大学工程学院, 韩国 釜山 608739)

摘要: 发酵过程生物参数的在线检测, 是获得发酵过程生物信息的重要手段, 也是进行合理最优控制的基础。但是, 目前许多生物量只能离线检测, 不能够为实时的控制系统利用。因此提出了基于图像处理技术的生物反应器浓度在线检测系统, 系统由反应液循环与控制装置、反应液浓度光学检测装置、图像采集与处理装置、计算机以及相应的处理软件组成。通过与分光光度计的实验比较, 证实了所设计的系统可以用于生物反应器浓度的在线测量, 为实现发酵过程生物参数的在线检测提供了值得借鉴的设计思路和实现方法。

关键词: 发酵过程生物参数; 图像处理; 浓度; 在线检测

中图分类号: TP 27 文献标识码: A

Development of concentration measurement system in bioreactor based on image processing

XU Zhe¹, CHEN Hong-wu¹, Hak Kyeong Kim², Sang Bong Kim²

(1. College of Engineering Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;

(2. College of Engineering, Pukyong National University, Pukyong 608739, Korea)

Abstract: Measurement and monitoring of fermentation parameter is a very important way for obtaining the information of fermentation process, and also is the basis of optimal control. But, until now, most bio-information is obtained offline, and the bio-information can not be used for control system on-line. In this paper, an on-line measurement system is developed based on the image processing technique. The developed system includes circulation and control part of solution, optical measurement part of solution, image catch and process part, computer and the software programme. The developed measurement system is compared with an existing spectrometer. The experiment results proved the proposed method and system can be used in on-line measurement system for development of other analytical instruments.

Key words: Fermentation biological parameter; image processing, concentration; on-line measurement

计算机技术和新型检测技术的发展与应用, 实现了发酵过程中许多物理参数和化学参数检测的实时性和智能化^[1]。但是, 发酵过程中生物参数的在线检测, 由于传感器的局限性, 始终未能有好的突

收稿日期: 2006-03-14

基金项目: 教育部重点科技项目(02060); 上海高校选拔培养优秀青年教师科研专项基金(677170801)

作者简介: 许哲(1970-), 男, 吉林安图人, 博士, 讲师, 从事机电一体化控制, 计算机图像处理, 生物过程检测与控制方向的研究。

E-mail: xuzhe@shfu.edu.cn

破。中国华东理工大学的张嗣良教授提出了基于多尺度的发酵过程控制理论^[2],强调了生物参数的测定和作为过程控制参数的重要性,但是这些重要的生物学参数目前仍然很难实现实时的在线检测。因此,针对生物过程参数的检测,乔晓艳等人根据发酵液在无线电频率范围内的电容率是测量频率与菌体浓度的函数,提出了生物发酵过程菌体浓度在线自动检测系统,并且实验验证了该检测方法及其检测系统的可行性^[3]。陈宏文等人基于比浊法,利用分光光度计测的光密度值与菌体成正比进行测量,提出了细胞浓度在线检测系统,该系统能及时、较准确地反映发酵过程中菌体浓度随时间的变化情况^[4]。杨海麟等人提出的生物反应过程在线检测系统的研制^[5]。韩国 Kim 提出了基于图像处理的细胞计数方法在发酵过程的生物参数的检测方法^[6]。但是,由于发酵产物的多样性和发酵过程的复杂性,至今没有良好、通用的方法来检测生物反应浓度。在本篇论文中,作者提出了基于图像处理技术的反应物浓度在线检测系统。通过实验比较,证实了所设计的系统可以用于生物反应器浓度的在线检测。

1 实验装置设计

1.1 系统总成

实验系统是由发酵罐、补料系统、反应液循环与控制系统、浓度检测装置、计算机控制系统四部分组成,如图 1 所示。发酵罐为韩国 Biotech 公司生产的 2 升发酵罐,能实现温度、pH 值、溶解氧、泡沫的测量和控制。

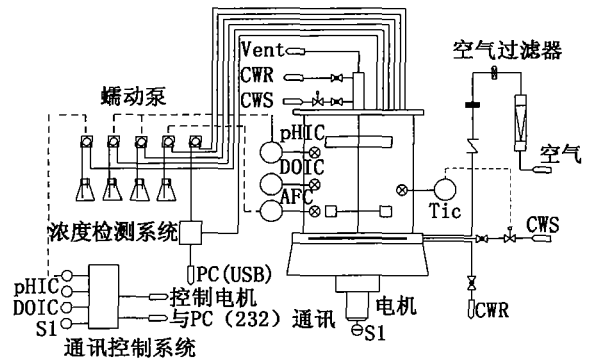


图 1 系统原理示意图

Fig. 1 Configuration of bioreactor control system

1.2 反应液循环与控制装置的设计

反应液循环与控制装置系统由蠕动泵、导液软管和消泡装置构成。由单片机控制的蠕动泵,通过软管将发酵液引出发酵罐,然后流经浓度检测装置,最后回到发酵罐,如图 2 所示。

1.3 浓度检测装置的设计

1.3.1 检测装置的构成

检测装置包括光源、透镜、三棱镜、狭缝调节机构、图像采集处理装置和采样瓶等。其中图像采集处理装置包括 CCD 摄像头和图像采集卡。采集的图像数据经过采集卡,传输到计算机中。图 3 是检测实验装置构成示意图。



图 2 生物反应器控制系统
Fig. 2 Bioreactor control system

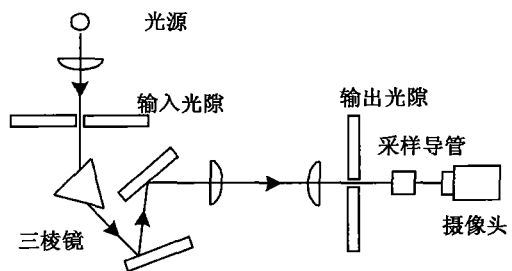


图 3 浓度检测装置原理图
Fig. 3 Diagram of concentration measurement system

1.3.2 检测装置的工作原理

本系统的设计原理是基于分光光度计原理。光信号通过一系列光学透镜,经过分光处理,然后通过狭缝,成为一束平行单色光,通过采样反应液玻璃管,最后由 CCD 摄像头获得透过来的光强信号,经过

计算,来测定反应液浓度。

2 检测系统的软件设计

检测系统的软件部分主要包括图像采集模块、图像数据处理模块和图像数据操作界面模块(图4)。图5是图像处理程序流程图。图像数据采集到计算机中以后,首先,彩色图像转变成灰度图像,然后转变成二值图像。图6是通过 CCD 摄像头获取的实时彩色图像。图7所示为灰度图像。然后,灰度图像再转变成黑白二值图像,如图8所示。在黑白二值图像中,光斑在整个图像中面积占有比率是:

$$I_n = A_f/A_i \tag{1}$$

其中,

A_f :光斑的面积。 A_i :图像面积。 I_n :输入光强度。

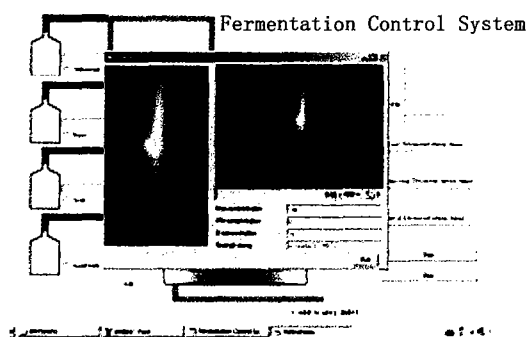


图4 实时图像采集系统

Fig. 4 Real time image data collection system

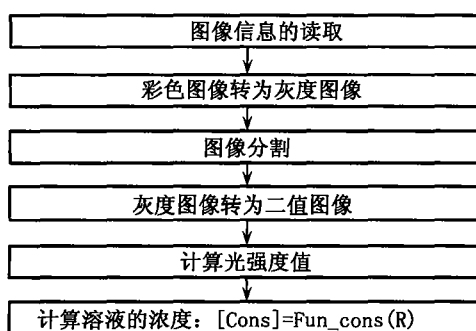


图5 模块流程图

Fig. 5 Image processing flow chart

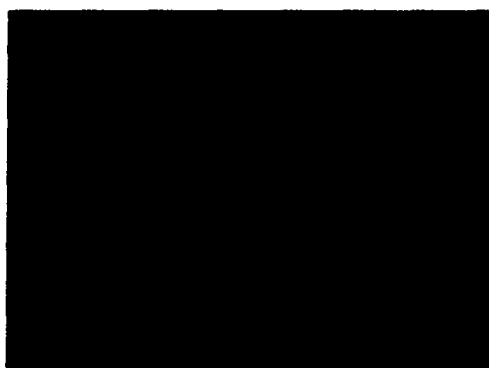


图6 彩色图像数据

Fig. 6 Color image data



图7 灰度图像数据

Fig. 7 Gray image data

下面,基于 Lamber-Beer 定律,采样液的光吸收率为:

$$A_s = | \log(I_{n0}/I_n) | = KC_{ons} T_{ics} \tag{2}$$

其中, A_s :采样液的光吸收率。

K :光吸收常数。

I_{n0} :无采样液通过采样瓶时的光强度(纯水)。

C_{ons} :采样液的浓度。

I_n :有采样液通过采样瓶时的光强度。

T_{ics} :采样瓶直径。

利用反应液循环与控制装置获得培养溶液,由式(1)和式(2),通过计算获得的采样液的光强度值和光吸收率。然后采用离线的方式,使用分光光度计,获得反应液在不同时段的浓度值,见表1。利用公式(3),采用多项式拟合算法求得参数 a_i 。

$$C_{ons} = \sum_{i=1}^n a_i A_i^n \quad (3)$$

为检验本浓度检测系统检测实验数据的可靠性,为验证所得到的关系式(3),本浓度检测系统与已有的标准分光光度计进行了比较测试。实验数据如表2所示。图9是根据实验获得浓度变化曲线。其中实心圆点划线为本系统获得的浓度曲线,虚心圆点划线是参照分光光度计获得的浓度曲线。

表1 由本浓度检测装置测得的光强度值和光吸收率

Tab.1 Experimental data of absorbance and intensity using concentration measurement system

No.	参考分光光度计		本浓度检测装置	
	光吸收率	浓度	光强度值	光吸收率
1	0.001	0	0.095	0.021 363 1
2	0.940	0.2	0.051 2	0.290 730 0
3	1.357	0.4	0.024 0	0.619 788 8
4	1.658	0.6	0.001 2	1.920 8
5	1.884	0.8	0.000 855	2.070 581 1
6	1.974	1		

表2 本浓度检测装置和参考分光光度计的比较数据

Tab.2 Comparison data of concentration measurement system and reference spectrometer

No.	本浓度检测装置			参考分光光度计	
	光强度	光吸收率	浓度	光吸收率	浓度
1	0.079 6	0.099 1	0.078 2	0.554	0.130 2
2	0.073 5	0.133 7	0.117 0	0.747	0.165 8
3	0.042 5	0.371 6	0.298 6	1.106	0.262 4
4	0.028 5	0.545 2	0.355 2	1.337	0.367 1
5	0.026 5	0.576 8	0.360 2	1.356	0.377 80

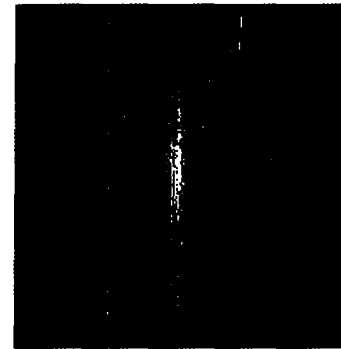


图8 黑白图像数据

Fig.8 Binary image data

3 结语

本论文提出了基于图像处理技术的生物反应器浓度在线检测系统。通过多次与分光光度计的实验验证比较,使用本开发系统测得的数据接近参考分光光度计的测试数据,证实了所设计的系统可以用于生物反应器浓度的在线测量,为实现发酵过程参数的在线检测提供了值得借鉴的设计思路和实现方法。

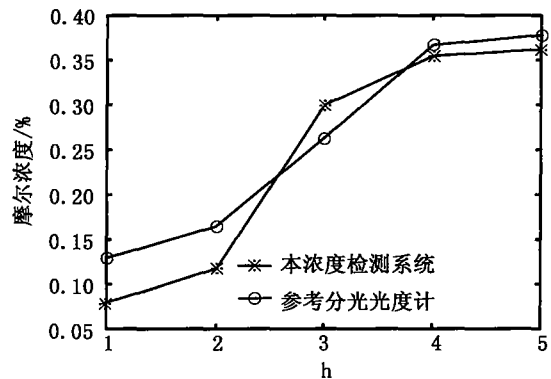


图9 参考分光光度计与浓度检测实验装置数据比较

Fig.9 Comparison data of developed equipment and reference spectrometer

参考文献:

[1] 史仲平. 发酵过程解析、控制与检测技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
 [2] 张嗣良, 储炬. 多尺度微生物过程优化[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
 [3] 乔晓艳, 贾莲凤. 生物发酵过程菌体浓度在线检测系统设计. [J]. 计算机测量与控制, 2003, 11: 324 - 325.
 [4] 陈宏文, 金福江, 方柏山, 等. 发酵过程中细胞浓度在线检测系统[J]. 微生物学报, 2003, 30(4): 39 - 43.
 [5] 杨海麟. 生物反应过程在线检测系统的研制[J]. 无锡轻工大学学报, 2003, 22(1): 33 - 36.
 [6] Kim H K. Counting Algorithm of Microorganism and Control of Bioreactor System[D]. Pukyong national University, Korea, 2001.