DOI:10.19789/j.1004-9398.2018.03.015

一种多特征自适应组合的遥感影像变化检测方法*

马 红[1,2] 刘 浩[1,2]

(1. 重庆市勘测院,重庆 401121; 2. 重庆市地理国情监测工程技术研究中心,重庆 401121)

摘 要

传统的遥感影像变化检测主要利用影像的光谱信息,没有考虑形状、纹理等多种特征信息,检测结果的准确性受限. 针对多时相遥感影像的变化检测,研究了多特征自适应组合的检测方法,并选取影像的光谱和纹理特征为代表,进行了特征权值的自动调节分析,最终实现遥感影像精准变化检测. 以 WorldView-2 卫星影像进行了实验,结果表明,该方法能够较好地调节两种特征的权值,对检测结果的准确性与完整性有较大改善,正确率可达 87.79%.

关键词: 变化检测,多特征组合,面向像斑,自适应调节.
中图分类号: TP75

0 引 言

遥感影像变化检测是利用不同时期的遥感影像,定量分析和确定土地利用与地表覆盖变化的特征与过程,即通过遥感手段获取同一地区不同时期影像,经过处理、分析和对比,获取该时间段内地表的变化趋势及演化规律[1-2]. 遥感影像变化检测在土地利用/覆盖变化、灾害监测、地理国情监测等诸多领域发挥着积极和重要的作用[3-4].

随着遥感平台、传感器等技术的兴起与发展,遥感影像数据越来越多,分辨率越来越高,特征越来越丰富,传统的变化检测方法已难以满足实际应用的需要. 国内外诸多学者就遥感影像变化检测方法进行了大量研究,各种方法在不同领域中呈现较好的应用效果,尤其面向对象法和多特征融合法在高分辨率遥感影像变化检测中逐步成为主流技术手段[1,5-6]. 对象也称像斑,是指遥感影像上一组空间相邻、光谱相似的像元,其中包含有丰富的光谱信息、纹理信息、形状信息及相互关系[7-8]. 采用面向对象的变化检测方法,能够更好地集成像斑特征,构建更稳定的数学模型,进而提高可靠性. 巫兆聪等[9]提出了结合光谱、纹理与形状结构信息进行遥感影像分割获取像斑; Walter[10]提出基于像斑的遥感影像分类后比较法; 宋翠玉等[11]集成遥感影像的光谱信息与纹理信息,改善了检测效果; 李淑坤等[12]以地统计学方式提取影像的纹理信息,并与光谱信息结合开展影像变化检测. 这些方法虽然考虑了影像的多个特征,但只是将这些特征直接组合,对特征权值的设置和调节研究较少[13],普适性不高. 本文研究了一种多特征自适应组合的变化检测方法,即在检测判别过程中,根据分析对象自动调节每个特征的权值,以便更好地利用待检测影像的特征信息,优化检测结果.

1 多特征自适应组合的影像变化检测方法

选取影像的光谱和纹理两种特征为代表,进行权值自动调节研究. 对基准期和检测期的影像进行多尺度组合分割,以分割得到的影像像斑为基本单位,分别计算各像斑的两类特征的直方图. 再采用直方图 G 统计量计算各像斑之间两类特征的距离,然后选取特征异质性度量准则,计算两类特征的异质性,将两类特征距离自适应加权组合,获得像斑异质性. 再采用最大期望法和贝叶斯最小错误率理论依次判别检测像斑的变化类型. 具体的流程如图 1 所示.

收稿日期: 2017-10-16
* 重庆市社会事业与民生保障科技创新专项(cstc2017shmsA30027); 住房城乡建设部 2015 年科学技术项目(2015-K8-009).

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

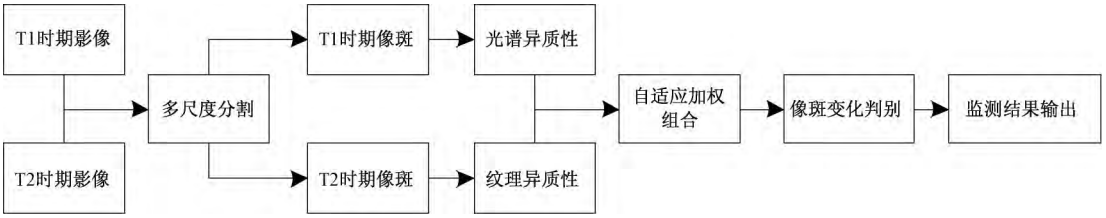


图1 多特征自适应组合的变化检测流程图

1.1 像斑获取

以像斑为单位,研究基于多特征自适应组合的遥感影像变化检测,因此需要先将影像进行分割获得像斑.

采用 eCognition 软件的多尺度分割获取像斑,算法中包含参数有紧致度因子、形状因子和尺度因子. eCognition 软件多尺度分割是一种由下而上的区域合并算法,在每一步像斑合并时,当前像斑仅与异质性最小的邻接像斑进行合并,当异质性值大于所设定的阈值时,则不再合并. 经过多次试验,得出以下经验: 针对高分辨率遥感影像,为避免过分割和欠分割现象,最佳紧致度为 [0.5,0.97],最佳形状因子为 [0.1,0.5],分割尺度则依据变化检测要求的最小检测面积来确定.

1.2 特征提取

像斑中包含着一系列光谱相似的像元,像斑的特征需要反应内部像元的特征分布情况,采用直方图统计来表征像斑的特征变量,直方图是通过描述特征值和频率之间的对应关系来反应像斑内部像元的特征信息分布.

1) 光谱特征

光谱特征是最直接的像斑特征,采用光谱直方图来表征像斑内像元的光谱特征分布情况,图 2 所表示了一个像斑,每个单元格表示一个像元,灰色填充单元格为像斑内部像元,每个单元格的数值为灰度值,统计可以得到该像斑的灰度直方图. 常用的灰度级为 8、16、32、64、128、256. 灰度级取值越大,对地物的细节描述能力越强,然而对应的计算量也越大; 取值越小,计算量减小,但可能丢失重要的细节信息[3].

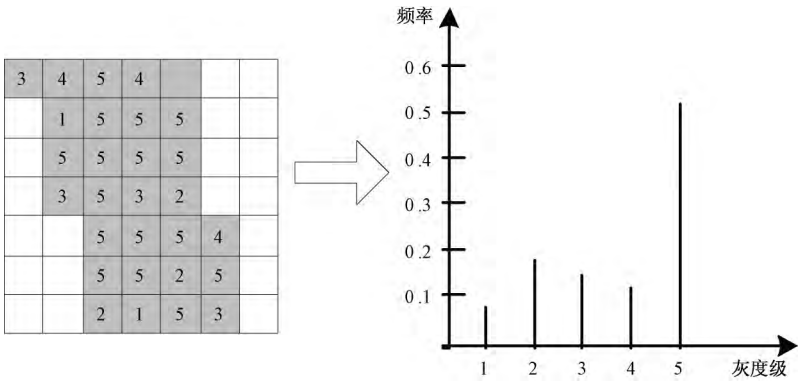


图2 光谱直方图计算示例

2) 纹理特征

纹理特征是像斑的间接特征,能够反映像斑的结构特征. 研究过程中常用局部二值模式(local binary patterns,LBP) 纹理来提取像斑的纹理特征. LBP 纹理,是采用统计方法来描述纹理特征,即比较研究对象中心像元的灰度值与计算窗口像元灰度值的大小关系来描述纹理特征[3]. LBP 纹理构造了一种衡量一个像素点和它周围像素点的关系,具有旋转不变性和灰度不变性等优点,在图像处理和分析中应用较多. LBP 纹理的计算如式(1) 所示.

$$L_{P,R} = \sum_{P=0}^{P-1} 2^P S_P \tag{1}$$

其中:

$$S_P = S(g_P - g_C) = \begin{cases} 0, g_p < g_c \\ 1, g_p \geqslant g_c \end{cases} \tag{2}$$

其中,计算窗口的半径为 R,窗口的像素数为 P,g_c 为中心像元的灰度值,g_P 为邻域像元的灰度值,图 3 为 LBP 纹理的计算示例.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

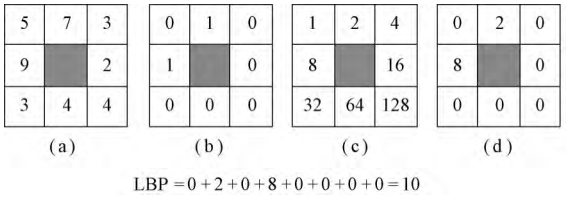


图 3　LBP 纹理计算示例

由于原始 LBP 算法权值是固定,其对纹理方向具有敏感性. 因此采用改进 LBP 来描述,即顺时针旋转权值模板,得到各方向 LBP 值,再取所有值的均值,即 $L_{P,R}^{ri}$,计算如式(3)所示:

$$L_{P,R}^{ri} = \frac{\sum_{i=0}^{p-1} R_L(L_{P,R},i)}{P}, \tag{3}$$

其中,$R_L(L_{P,R},i)$ 为权值模板顺时针旋转 i 次后的 LBP 值,如式(4)所示:

$$R_L(L_{P,R},i) = \begin{cases} \sum_{P=0}^{i-1} 2^{P-i+P} S_P + \sum_{P=i}^{P-1} 2^{P-i} S_P, 0 < i < P-1 \\ L_{P,R}, \quad i = 0 \end{cases}. \tag{4}$$

1.3　特征距离计算

根据光谱直方图和 LBP 纹理直方图,可分别获得两种特征的距离. 采用 G 统计量方法来度量像斑与像斑之间的特征距离. 设 $T1$ 时期和 $T2$ 时期的遥感影像波段数为 N,直方图量化等级为 L,那么波段 n 上的概率密度函数为 $f^n(1 \leqslant n \leqslant N)$,则 $T1$ 时期和 $T2$ 时期像斑直方图在波段 n 上的距离为 G^n,其计算如式(5)所示:

$$\begin{aligned} G^n = 2\{ & \sum_{T1,T2}\left(\sum_{i=0}^{L-1} f_i^n \ln f_i^n\right) - \sum_{T1,T2}\left(\sum_{i=0}^{L-1} f_i^n\right)\ln\left(\sum_{i=0}^{L-1} f_i^n\right) - \\ & \sum_{i=0}^{L-1}\left(\sum_{T1,T2} f_i^n\right)\ln\left(\sum_{T1,T2} f_i^n\right) + \\ & \left(\sum_{T1,T2}\sum_{i=0}^{L-1} f_i^n\right)\ln\left(\sum_{T1,T2}\sum_{i=0}^{L-1} f_i^n\right)\}, \end{aligned} \tag{5}$$

其中,f_i^n 表示 i 值出现的频率. 像斑直方图的累积频率为 1,则可得到式(6):

$$\left.\begin{aligned} & \sum_{T1,T2}\left(\sum_{i=0}^{L-1} f_i^n\right)\ln\left(\sum_{i=0}^{L-1} f_i^n\right) = 1 \times \ln 1 + 1 \times \ln 1 = 0 \\ & \left(\sum_{T1,T2}\sum_{i=0}^{L-1} f_i^n\right)\ln\left(\sum_{T1,T2}\sum_{i=0}^{L-1} f_i^n\right) = 2\ln 2 \end{aligned}\right\}, \tag{6}$$

将式(6)代入式(5),可以得到式(7):

$$G^n = 2\{\sum_{T1,T2}\sum_{i=0}^{L-1} f_i^n \ln f_i^n - \sum_{i=0}^{L-1}\left(\sum_{T1,T2} f_i^n\right)\ln\left(\sum_{T1,T2} f_i^n\right) + 2\ln 2\} \tag{7}$$

1.4　像斑异质性

假定 T1 和 T2 时期的像斑在波段 n 上的异质性为 H^n,可以用光谱距离和纹理距离的平均值表示,如式(8)所示:

$$H^n = p_s G_s^{\ n} + p_t G_t^n. \tag{8}$$

在像斑异质性判读中,光谱特征和纹理特征的权重确定是关键. 为取得较好的检测结果,且便于推广,利用标准差反应灰度值离散程度的原理[3-4],来实现光谱特征和纹理特征权重的自适应组合. 由于像斑的光谱特征丰富程度与标准差成反比,纹理特征的丰富程度与标准差成正比,那么对于设定好的标准差阈值,当计算的标准差大于该设定的阈值时,可判定纹理特征为该像斑的主导特征,反之,光谱特征为主导特征. 针对基准期和检测期的像斑,根据标准差判别像斑的主导特征,并给其主导特征赋予相对较大的权值,给其他特征赋予相对较小的权值. 根据待检测影像的特征情况,需选取适宜的标准差阈值,是影像检测结果的关键. 设像斑在 $T1$、$T2$ 时期的标准差分别为 $std1$、$std2$,阈值分别为 $k1$ 和 $k2$,则对应的归一化权重计算如式(9)所示:

$$\left.\begin{aligned} p_s &= \begin{cases} \max(std1,std2)/(std1+std2); \\ \quad std1 < k1 \text{ 且 } std2 < k2 \\ \min(std1,std2)/(std1+std2); \text{其他} \end{cases} \\ p_t &= \begin{cases} \min(std1,std2)/(std1+std2); \\ \quad std1 < k1 \text{ 且 } std2 < k2 \\ \max(std1,std2)/(std1+std2); \text{其他} \end{cases} \end{aligned}\right\}. \tag{9}$$

进一步对每个波段的值求加权平均数,作为判定依据,以便综合利用遥感影像丰富的波段信息,计算方法如式(10):

$$\left.\begin{aligned} H &= \sum_{n=1}^{N} w(n) H^n \\ w(n) &= \frac{E(n)}{\sum_{i=1}^{N} E(i)} \end{aligned}\right\}, \tag{10}$$

其中,采用波段的熵值来确定波段的权重,$w(n)$ 表示波段 n 的归一化权重,$E(n)$ 表示第 n 个波段的熵.

1.5　变化判别

在像斑变化判别过程中,先利用期望最大化(expectation maximization,EM)算法进行参数求解,

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

再利用贝叶斯最小错误率理论来进行像斑变化类别划分.

设所有像斑的异质性集合为 $H = \{h_1, h_2, \cdots, h_N\}$,那么 h_i 为表示 i 个像斑的异质性值. 在检测判定中,可将 H 中的像斑判别为变化、未变化两种类型[3]. EM 算法是一种参数估计法,采用跌代算法,设定初始值,计算像斑为变化和未变化类的概率,如式(11)所示[3]:

$$P(l \mid h_k) = p(h_k \mid l) \frac{p(l)}{p(h_k)}, \qquad (11)$$

其中,$P(l \mid h_k)$ 表示像斑检测结果的后验概率[3]. φ_c 和 φ_n 分别表示变化和未变化两种检测结果. 基于贝叶斯最小错误率原理,不考虑常量 $p(h_k)$,可对像斑进行像斑如下判别: 若 $p(h_k \mid \varphi_c) P(\varphi_c) > p(h_k \mid \varphi_n) p(\varphi_n)$,则 $h_k \in \varphi_c$,即判定该像斑变化; 反之,$h_k \in \varphi_n$,即判定其未变化.

2 实验结果与分析

2.1 实验数据描述

为验证本文方法的可行性和准确性,选取重庆市某地区 2013 年 10 月和 2014 年 10 月的 WoldView-2 卫星影像进行实验. 实验影像大小为 1 250 × 1 250 像元,含红、绿、蓝、近红外 4 个波段信息,影像空间分辨率为 2 m,图 4(a)、4(b)为两期实验影像假彩色融合效果. 实验过程中,将两期影像组合为一个 8 波段的新影像,利用 eCognition 软件进行多尺度分割获取像斑. 经过反复实验,为避免过分割和欠分割,将尺度因子设为 140,紧致度因子设为 0.45,形状因子设为 0.75,各波段的权重均为 1; 图 4(c)为分割得到的像斑,总数为 1 187.



(a) 2013年影像



(b) 2014年影像



(c) 多尺度分割结果

图 4 变化检测实验数据及多尺度分割结果

2.2 检测结果分析

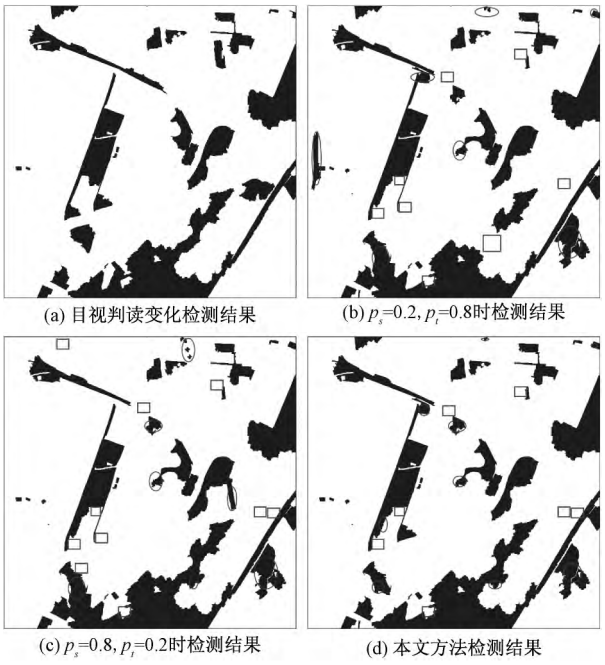
检测结果的分析和验证是评定检测方法可靠与否的关键,利用基于正确率、虚检率、漏检率[1,7,14]的分析方法来评定检测结果的准确性. 一般意义上的正确率、虚检率、漏检率用像素个数来比描述,或采用像斑面积和来描述. 正确率越高、虚检率和漏检率越低,则检测结果精确度越好、可靠性越高.

为得到较为准确的变化检测结果,选取光谱特征的量化等级为 256,纹理特征的量化等级为 128 进行实验. 为了进一步检验本文方法对不同地物、不同影像的适用性,同时采用固定权值法进行对比实验,将两种方法的检测结果与人工目视判读结果进行对比分析.

图 5(a)为人工目视判读的变化检测结果,可视为标准变化检测结果; 图 5(b)、5(c)为固定权值方法检测结果,其中(b)是光谱特征权值为 0.2、纹理特征权值为 0.8 时的变化检测结果,(c)是光谱特征权值为 0.8、纹理特征权值为 0.2 时的变化检测结果; 图 5(d)为本文自适应权值方法的变化检测结果. 在图 5(b)、5(c)、5(d)中,椭圆标注处表示虚检结果,方框标注处表示漏检结果. 计算 3 种变化检测结果相对于标准变化检测结果的正确率、虚检率、漏检率,进行精度评定,如表 1 所示.

由表 1 可得出以看出: (1)从三组实验的结果可知,不同权重的光谱特征和纹理特征对检测结果的影响较大,特征的权重赋值是控制检测结果的

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



(a) 目视判读变化检测结果　(b) p_s=0.2, p_t=0.8时检测结果

(c) p_s=0.8, p_t=0.2时检测结果　(d) 本文方法检测结果

图 5　变化检测结果

关键; (2) 对比第一组和第二组实验结果可知,针对该组实验数据而言,光谱特征对检测结果的影响比纹理特征大; (3) 对比三组实验的结果可知,本文自适应的权值分配方法检测结果更优,正确率最高,达到 87. 79%; (4) 采用固定权值的方法将光谱特征和纹理特征进行组合,正确率也较传统方法高,但由于其不能实现特征的自适应权重赋值,对经验知识的要求较高,而本文方法能够根据像斑特征调节特征权值,充分利用像斑的光谱特征和纹理特征,检测结果精度优于固定权值方法,且不依赖于实验经验和专家知识.

3　结束语

针对多时相遥感影像的变化检测,研究了一种多特征自适应组合的方法,并选取光谱特征和纹理两种特征为代表,实现了两种特征的权值自动调节. 将本文方法和固定权值法的变化检测结果与人工目视判读结果进行了对比分析. 分析结果表明,本文方法在不依赖实际经验和专家知识的前提下,能够充分利用像斑的纹理和光谱两种组合特征,能有效改善检测效果. 同时兼顾纹理和光谱特征的权值自应调节方法,为多特征组合的遥感影像变化检测技术提供了参考和借鉴. 在下一步研究中,还将引入像斑的颜色、形状、边缘等特征,探索更多特征的自适应组合方法,进一步提高多时相遥感影像变化检测的准确性和可靠性.

表 1　不同权重变化检测结果精度比较

	p_s = 0. 2, p_t = 0. 8 时检测结果		p_s = 0. 8, p_t = 0. 2 时检测结果		本文方法检测结果	
	变化面积/m^2	未变化面积/m^2	变化面积/m^2	未变化面积/m^2	变化面积/m^2	未变化面积/m^2
目视变化面积/m^2	725 090	486 447	746 437	329 520	731 349	277 161
目视未变化面积/m^2	495 104	4 554 366	453 722	4 731 328	475 657	4 776 840
合计面积/m^2	1 220 194	5 040 813	1 200 159	5 060 848	1 207 006	5 054 001
虚检率/%	40. 58		37. 81		39. 54	
漏检率/%	40. 15		30. 63		27. 48	
正确率/%	84. 32		87. 49		87. 79	

参　考　文　献

[1] 徐俊峰, 张保明, 郭海涛, 等. 一种多特征融合的面向对象多源遥感影像变化检测方法 [J]. 测绘科学技术学报, 2015,32(5) : 505 – 509.

[2] 陈永慧, 李小娟, 胡德勇. 遥感图像土地覆被专题信息提取方法综述 [J]. 首都师范大学学报: 自然科学版, 2009,30(1) : 59 – 64.

[3] 李亮, 舒宁, 王凯, 等. 融合多特征的遥感影像变化检测方法 [J]. 测绘学报, 2014,43(9) : 945 – 953.

[4] 于信芳, 罗一英, 庄大方, 等. 土地覆盖变化检测方法比较——以内蒙古草原区为例 [J]. 生态学报, 2014,34 (24) : 7192 – 7201.

[5] 孙晓霞, 张继贤, 燕琴, 等. 遥感影像变化检测方法综述及展望 [J]. 遥感信息, 2011(1) : 119 – 123.

[6] 李小春, 全卫澎, 李卫华. 多特征自适应融合的高分辨率遥感影像变化检测 [J]. 电光与控制, 2015,22(3) : 45 – 49.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[7] 李亮,舒宁,龚龑. 考虑时空关系的遥感影像变化检测和变化类型识别[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2013,38(5):533-537.
[8] 王培培. 基于 ETM 影像的水体信息自动提取与分类研究[J]. 首都师范大学学报:自然科学版,2009,30(6):75-79.
[9] 巫兆聪,胡忠文,张谦. 结合光谱、纹理与形状结构信息的感影像分割方法[J]. 测绘学报,2013,43(1):44-50.
[10] Walter V. Object-based classification of remote sensing data for change detection[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,2004,58(3):225-238.
[11] 宋翠玉,李培军,杨锋杰. 运用多尺度图像纹理进行城市扩展变化监测[J]. 国土资源遥感,2006(3):37-42.
[12] 李淑坤,李培军,程涛. 加入多时相纹理的遥感变化检测[J]. 国土资源遥感,2009(3):35-40.
[13] 刘淑凤,申邵洪. 融合光谱和几何特征的高分辨率遥感变化检测研究[J]. 长江科学院院报,2016,33(11):36-42.
[14] 李亮,龚龑,李雪,等. 像斑直方图相似性测度的高分辨率遥感影像变化检测[J]. 遥感学报,2014,18(1):139-153.

A Change Detection Method for Remote Sensing Images Based on Adaptive Multi-Feature Fusion

Ma Hong[1,2] Liu Hao[1,2]

(1. Chongqing Survey Institute, Chongqing 401121;
2. Chongqing Geographic National Condition Monitoring Engineering Research Center, Chongqing 401121)

Abstract

Traditional change detection for remote sensing image mainly uses the spectral information of the image without considering the shape, texture and other characteristics of image information, so the accuracy of detection result is limited. Aiming at change detection of multi-temporal remote sensing images, this paper studies a change detection method for remote sensing images based on adaptive multi-feature fusion. By selecting the spectral and texture features of the image as the representative, the automatic adjustment analysis of the feature weight is carried out, and finally the accurate change detection of the remote sensing image is achieved. At last, experiments are carried out with WorldView-2 satellite images and the results show that this method can adjust the weights of the two features well and improve the accuracy and integrity of the detection results. The correct rate is 87.79%.

Key words: change detection, features combination, object-oriented, adaptive control.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net