



(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2010/10/28
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2011/05/05
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2012/04/23
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: EP 2010/066342
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2011/051383
 (30) Priorité/Priority: 2009/10/29 (FR0957626)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *G06T 7/00* (2006.01)
 (71) Demandeurs/Applicants:
 GALDERMA RESEARCH & DEVELOPMENT, FR;
 INRIA INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN
 INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE, FR
 (72) Inventeurs/Inventors:
 PRIGENT, SYLVAIN, FR;
 DESCOMBES, XAVIER, FR;
 ZERUBIA, JOSIANE, FR;
 ZUGAJ, DIDIER, FR;
 PETIT, LAURENT, FR
 (74) Agent: ROBIC

(54) Titre : DISPOSITIF ET PROCEDE DE COMPENSATION DE RELIEF D'IMAGES HYPER-SPECTRALES
 (54) Title: DEVICE AND METHOD FOR ADJUSTING THE RAISED PATTERN OF HYPER-SPECTRAL IMAGES

(57) **Abrégé/Abstract:**

Dispositif de compensation du relief d' au moins une image hyper-spectrale comprenant au moins un capteur (1) apte à produire au moins une image hyper-spectrale dans au moins deux longueurs d'ondes, un moyen de calcul (2) apte à classer les pixels de l'image hyper-spectrale issue du capteur (1) en fonction d'une relation de classement à deux états, un moyen d' affichage (3) apte à afficher au moins une image fonction des pixels classés provenant du moyen de calcul (2). Le moyen de calcul (2) comprend un moyen de compensation (6) du relief en fonction d'au moins une image de référence.



(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
5 mai 2011 (05.05.2011)

(10) Numéro de publication internationale
WO 2011/051383 A1

- (51) Classification internationale des brevets :
G06T 7/00 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2010/066342
- (22) Date de dépôt international :
28 octobre 2010 (28.10.2010)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
0957626 29 octobre 2009 (29.10.2009) FR
- (71) Déposants (*pour tous les États désignés sauf US*) :
GALDERMA RESEARCH & DEVELOPMENT [FR/FR]; 2400 Route des Colles Les Templiers, F-06410 Biot (FR). **INRIA Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique** [FR/FR]; Domaine de Voluceau Rocquencourt, F-78153 Le Chesnay Cedex (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (*pour US seulement*) : **PRIGENT, Sylvain** [FR/FR]; 85 Rue Henri Pointcarré, F-BIOT 06410 (FR). **DESCOMBES, Xavier** [FR/FR]; Le Chantarella, 25A Avenue du Chataignier, F-06600 Antibes (FR). **ZERUBIA, Josiane** [FR/FR]; 36 Avenue Francis Tonner, F-06150 Cannes La Bocca (FR). **ZUGAJ, Didier** [FR/FR]; Cap Soleil, 10 Rue de la Soulane, F-06250 Mougins-le-haut (FR). **PETIT, Laurent** [FR/FR]; 19 Chemin de Peylobier, F-06530 Peymeinade (FR).
- (74) Mandataire : **CASALONGA, Axel**; Bureau D.a. Casalonga & Josse, 8 Avenue Percier, F-75008 Paris (FR).
- (81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Publiée :
— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h))

(54) Title : DEVICE AND METHOD FOR ADJUSTING THE RAISED PATTERN OF HYPER-SPECTRAL IMAGES

(54) Titre : DISPOSITIF ET PROCÉDE DE COMPENSATION DE RELIEF D'IMAGES HYPER-SPECTRALES

(57) Abstract : The invention relates to a device for adjusting the raised pattern of at least one hyper-spectral image including at least one sensor (1) capable of producing at least one hyper-spectral image in at least two wavelengths, a computing means (2) capable of classifying the pixels of the hyper-spectral image derived from the sensor (1) on the basis of a two-state classification relationship, and a display means (3) capable of displaying at least one image on the basis of the classified pixels from the computing means (2). The computing means (2) includes a means for adjusting (6) the raised pattern on the basis of at least one reference image.

(57) Abrégé : Dispositif de compensation du relief d' au moins une image hyper-spectrale comprenant au moins un capteur (1) apte à produire au moins une image hyper-spectrale dans au moins deux longueurs d'ondes, un moyen de calcul (2) apte à classer les pixels de l'image hyper-spectrale issue du capteur (1) en fonction d'une relation de classement à deux états, un moyen d'affichage (3) apte à afficher au moins une image fonction des pixels classés provenant du moyen de calcul (2). Le moyen de calcul (2) comprend un moyen de compensation (6) du relief en fonction d'au moins une image de référence.



WO 2011/051383 A1

Dispositif et procédé de compensation de relief d'images hyper-spectrales.

5 La présente invention concerne l'analyse d'images et plus particulièrement la classification statistique des pixels d'une image. Elle concerne plus particulièrement la classification statistique des pixels d'une image en vue de la détection de lésions cutanées, telles que l'acné, le mélasma et la rosacée.

10 Les matériaux et éléments chimiques réagissent plus ou moins différemment lors de l'exposition à un rayonnement d'une longueur d'onde donnée. En balayant la gamme des rayonnements, il est possible de différencier des matériaux intervenant dans la composition d'un objet de part leur différence d'interaction. Ce principe peut être
15 généralisé à un paysage, ou à une partie d'un objet.

L'ensemble des images issues de la photographie d'une même scène à des longueurs d'onde différentes est appelé image hyper-spectrale ou cube hyper-spectral.

20 Une image hyper-spectrale est constituée d'un ensemble d'images dont chaque pixel est caractéristique de l'intensité de l'interaction de la scène observée avec le rayonnement. En connaissant les profils d'interaction des matériaux avec différents rayonnements, il est possible de déterminer les matériaux présents. Le terme matériau doit être compris dans un sens large, visant aussi bien les matières
25 solides, liquides et gazeuses, et aussi bien les éléments chimiques purs que les assemblages complexes en molécules ou macromolécules.

L'acquisition d'images hyper-spectrales peut être réalisée selon plusieurs méthodes.

30 La méthode d'acquisition d'images hyper-spectrales dite de scan spectral consiste à utiliser un capteur de type CCD, pour réaliser des images spatiales, et à appliquer des filtres différents devant le capteur afin de sélectionner une longueur d'onde pour chaque image. Différentes technologies de filtres permettent de répondre aux besoins de tels imageurs. On peut par exemple citer les filtres à cristaux

liquides qui isolent une longueur d'onde par stimulation électrique des cristaux, ou les filtres acousto-optique qui sélectionnent une longueur d'onde en déformant un prisme grâce à une différence de potentiel électrique (effet de piézo-électricité). Ces deux filtres présentent
5 l'avantage de ne pas avoir de parties mobiles qui sont souvent source de fragilité en optique.

La méthode d'acquisition d'images hyper-spectrales dite de scan spatial vise à acquérir ou « imager » simultanément toutes les longueurs d'ondes du spectre sur un capteur de type CCD. Pour
10 réaliser la décomposition du spectre, un prisme est placé devant le capteur. Ensuite, pour constituer le cube hyper-spectral complet, on réalise un balayage spatial ligne par ligne.

La méthode d'acquisition d'images hyper-spectrales dite de scan temporel consiste à réaliser une mesure d'interférence, puis de
15 reconstituer le spectre en faisant une transformée de Fourier rapide (acronyme anglais : FFT) sur la mesure d'interférence. L'interférence est réalisée grâce à un système de type Michelson, qui fait interférer un rayon avec lui-même décalé temporellement.

La dernière méthode d'acquisition d'images hyper-spectrales
20 vise à combiner le scan spectral et le scan spatial. Ainsi, le capteur CCD est partitionné sous forme de blocs. Chaque bloc du capteur CCD traite la même région de l'espace mais avec des longueurs d'ondes différentes. Puis, un balayage spectral et spatial permet de constituer une image hyper-spectrale complète.

25 Plusieurs méthodes existent pour analyser et classer des images hyper-spectrales ainsi obtenues, en particulier pour la détection des lésions ou maladies d'un tissu humain.

Le document WO 99 44010 décrit une méthode et un dispositif d'imagerie hyper-spectrale pour la caractérisation d'un tissu de la
30 peau. Il s'agit, dans ce document, de détecter un mélanome. Cette méthode est une méthode de caractérisation de l'état d'une région d'intérêt de la peau, dans laquelle l'absorption et la diffusion de la lumière dans différentes zones de fréquence sont fonction de l'état de la peau. Cette méthode comprend la génération d'une image numérique

de la peau incluant la région d'intérêt dans au moins trois bandes spectrales. Cette méthode met en œuvre une classification et une caractérisation de lésions. Elle comprend une étape de segmentation servant à réaliser une discrimination entre les lésions et le tissu normal en fonction de l'absorption différente des lésions en fonction de la longueur d'onde, et une identification des lésions par analyse de paramètres tels que la texture, la symétrie, ou le contour. Enfin, la classification proprement dite est réalisée à partir d'un paramètre de classification L.

10 Le document US 5,782,770 décrit un appareil de diagnostic de tissus cancéreux et une méthode de diagnostic comprenant la génération d'une image hyper-spectrale d'un échantillon de tissu et la comparaison de cette image hyper-spectrale à une image de référence afin de diagnostiquer un cancer sans introduire d'agents spécifiques facilitant l'interaction avec les sources lumineuses.

15 Le document WO 2008 103918 décrit l'utilisation de la spectrométrie d'imagerie pour la détection d'un cancer de la peau. Il propose un système d'imagerie hyper-spectrale permettant d'acquérir rapidement des images à haute résolution en évitant le recalage d'images, les problèmes de distorsion d'images ou le déplacement des composants mécaniques. Il comprend une source de lumière multi-spectrale qui illumine la zone de la peau à diagnostiquer, un capteur d'images, un système optique recevant la lumière de la zone de peau et élaborant sur un capteur d'image une cartographie de la lumière délimitant les différentes régions, et un prisme de dispersion positionné entre le capteur d'image et le système optique afin de projeter le spectre des régions distinctes sur le capteur d'image. Un processeur d'image reçoit le spectre et l'analyse afin d'identifier des anomalies cancéreuses.

20
25
30 Le document WO 02/057426 décrit un appareil de génération d'une carte histologique bidimensionnelle à partir d'un cube de données hyper-spectrales tridimensionnelles représentant l'image scannée de col de l'utérus d'une patiente. Il comprend un processeur d'entrée normalisant les signaux spectraux fluorescents collectés du

cube de données hyper-spectrales et extrayant les pixels des signaux spectraux indiquant la classification des tissus cervicaux. Il comprend également un dispositif de classification qui fait correspondre une catégorie de tissu à chaque pixel et un processeur d'image en lien avec
5 le dispositif de classification qui génère une image bidimensionnelle du col de l'utérus à partir des pixels incluant des régions codées à l'aide de code couleurs représentant les classifications des tissus du col de l'utérus.

Le document US 2006/0247514 décrit un instrument médical et
10 une méthode de détection et d'évaluation d'un cancer à l'aide d'images hyper-spectrales. L'instrument médical comprend notamment un première étage optique illuminant le tissu, un séparateur spectral, un ou plusieurs polarisateurs, un détecteur d'image, un processeur de diagnostic et une interface de contrôle de filtre. La méthode peut être
15 utilisée sans contact, à l'aide d'une caméra, et permet d'obtenir des informations en temps réel. Elle comporte notamment un prétraitement de l'information hyper-spectrale, la construction d'une image visuelle, la définition d'une région d'intérêt du tissu, la conversion des intensités des images hyper-spectrales en unités de densité optique, et
20 la décomposition d'un spectre pour chaque pixel dans plusieurs composantes indépendantes.

Le document US 2003/0030801 décrit une méthode permettant l'obtention d'une ou plusieurs images d'un échantillon inconnu en éclairant l'échantillon cible avec une distribution spectrale de
25 référence pondérée pour chaque image. La méthode analyse la ou les images résultantes et identifie les caractéristiques cibles. La fonction spectrale pondérée ainsi générée peut être obtenue à partir d'un échantillon d'images de référence et peut par exemple être déterminée par une analyse de sa composante principale, par poursuite de
30 projection ou par analyse de composantes indépendantes ACI. La méthode est utilisable pour l'analyse d'échantillons de tissus biologiques.

Ces documents traitent les images hyper-spectrales soit comme des collections d'images à traiter individuellement, soit en réalisant

une coupe du cube hyper-spectral afin d'obtenir un spectre pour chaque pixel, le spectre étant alors comparé à une base de référence. L'homme du métier perçoit clairement les déficiences de ces méthodes tant sur le plan méthodologique que sur le plan de la vitesse de traitement. Par ailleurs, on peut citer les méthodes basées sur le système de représentation CIEL*a*b, et les méthodes d'analyse spectrale, notamment les méthodes fondées sur la mesure de réflectance, et celles fondées sur l'analyse du spectre d'absorption. Cependant ces méthodes ne sont pas adaptées aux images hyper-spectrales et à la quantité de données les caractérisant.

Il a été constaté que la classification d'images hyper-spectrales est entachée d'erreurs liées à des non-détections au niveau des zones de l'image comprenant un relief.

Il existe donc un besoin pour une compensation de relief des images hyper-spectrales classées par poursuite de projection et séparation à vaste marge ou par analyse en composantes indépendantes.

Un objet de l'invention est un dispositif de compensation du relief d'images hyper-spectrales classées par poursuite de projection et séparation à vaste marge.

Un autre objet de l'invention est un procédé de compensation du relief d'images hyper-spectrales classées par poursuite de projection et séparation à vaste marge.

Un autre objet de l'invention est un dispositif de compensation du relief d'images hyper-spectrales classées par analyse en composantes indépendantes.

Un autre objet de l'invention est un procédé de compensation du relief d'images hyper-spectrales classées par analyse en composantes indépendantes.

Un autre objet de l'invention est l'application du dispositif de compensation du relief d'images hyper-spectrales classées, à la détection de lésions cutanées.

Le dispositif de compensation du relief d'au moins une image hyper-spectrale comprend au moins un capteur apte à produire au

moins une image hyper-spectrale dans au moins deux longueurs d'ondes,

un moyen de calcul apte à classer les pixels de l'image hyper-spectrale issue du capteur en fonction d'une relation de classement à
5 deux états,

un moyen d'affichage apte à afficher au moins une image fonction des pixels classés provenant du moyen de calcul.

Le moyen de calcul comprend un moyen de compensation du relief en fonction d'au moins une image de référence.

10 Le moyen de compensation du relief peut être apte à combiner linéairement une image de référence avec une image hyper-spectrale.

Le moyen de compensation du relief peut être apte à combiner linéairement une image de référence avec une image hyper-spectrale en combinant linéairement l'intensité de chacun des pixels de chaque
15 longueur d'onde de l'image hyper-spectrale avec l'intensité du pixel correspondant de l'image de référence.

L'image de référence peut être une image d'une longueur d'onde donnée comprise dans l'image hyper-spectrale générée par le capteur.

20 L'image de référence peut être une image comprise dans l'image hyper-spectrale réduite générée par le moyen de calcul.

Le moyen de calcul peut comprendre au moins un moyen de calcul d'une poursuite de projection, et au moins un moyen de réalisation d'une séparation à vaste marge.

25 Le moyen de calcul peut comprendre au moins un moyen d'analyse en composantes indépendantes.

Selon un autre aspect de l'invention, le dispositif de compensation est appliqué à la détection de lésions cutanées d'un être humain, l'image de référence étant acquise par un capteur dans une
30 longueur d'onde située dans le domaine infrarouge.

Selon un autre aspect de l'invention, le dispositif de compensation est appliqué à la détection de lésions cutanées d'un être humain, l'image de référence étant acquise par un capteur dans une longueur d'onde située dans le domaine proche infrarouge.

Selon un autre aspect de l'invention, le dispositif de compensation est appliqué à la détection de lésions cutanées d'un être humain, l'image de référence correspondant à une image composite issue de la poursuite de projection correspondant à la projection sur un vecteur d'images réalisées dans l'infrarouge et le proche infrarouge.

Selon un autre aspect de l'invention, le procédé de compensation du relief d'au moins une image hyper-spectrale provenant d'au moins un capteur apte à produire au moins une image hyper-spectrale dans au moins deux longueurs d'ondes, comprend au moins une étape de calcul apte à classer les pixels de l'image hyper-spectrale issue du capteur en fonction d'une relation de classement à deux états, et une étape d'affichage apte à afficher au moins une image fonction des pixels classés provenant de l'étape de calcul. L'étape de calcul comprend une étape de compensation du relief en fonction d'au moins une image de référence.

Au cours de l'étape de compensation du relief, on peut normaliser au moins une image hyper-spectrale en fonction d'une image de référence.

On peut normaliser une image hyper-spectrale en fonction d'une image de référence, en divisant l'intensité de chacun des pixels composant l'image hyper-spectrale par l'intensité du pixel correspondant de l'image de référence.

Au cours de l'étape de compensation du relief, on peut combiner linéairement une image de référence avec une image hyper-spectrale.

On peut combiner linéairement une image de référence avec une image hyper-spectrale en combinant linéairement l'intensité de chacun des pixels de chaque longueur d'onde de l'image hyper-spectrale avec l'intensité du pixel correspondant de l'image de référence.

L'image de référence peut être une image d'une longueur d'onde donnée comprise dans l'image hyper-spectrale générée par le capteur.

L'image de référence peut être une image comprise dans l'image hyper-spectrale réduite issue de l'étape de calcul d'une poursuite de projection.

5 L'étape de calcul peut comprendre au moins une étape de calcul d'une poursuite de projection, et au moins une étape de réalisation d'une séparation à vaste marge.

L'étape de calcul peut comprendre au moins une étape d'analyse en composantes indépendantes.

10 D'autres buts, caractéristiques et avantages apparaîtront à la lecture de la description suivante donnée uniquement en tant qu'exemple non limitatif et faite en référence en référence aux figures annexées sur lesquelles :

15 - la figure 1 illustre les principaux composants d'un dispositif de compensation de relief d'images hyper-spectrales selon une variante d'un mode de réalisation,

- la figure 2 illustre les principaux composants d'un dispositif de compensation de relief d'images hyper-spectrales selon une autre variante d'un mode de réalisation,

20 - la figure 3 illustre les principaux composants d'un dispositif de compensation de relief d'images hyper-spectrales selon un autre mode de réalisation,

- la figure 4 illustre les principales étapes d'un procédé de compensation de relief d'images hyper-spectrales selon une variante d'un mode de réalisation,

25 - la figure 5 illustre les principales étapes d'un procédé de compensation de relief d'images hyper-spectrales selon une autre variante d'un mode de réalisation, et

30 - la figure 6 illustre les principales étapes d'un procédé de compensation de relief d'images hyper-spectrales selon un autre mode de réalisation.

Comme décrit précédemment, il existe plusieurs façons d'obtenir une image hyper-spectrale. Toutefois, quelle que soit la méthode d'acquisition, il n'est pas possible de réaliser un classement directement sur l'image hyper-spectrale telle qu'acquise.

On rappelle à l'occasion qu'un cube hyper-spectral est un ensemble d'images réalisées chacune à une longueur d'onde donnée. Chaque image est à deux dimensions, les images étant empilées selon une troisième direction en fonction de la variation de la longueur d'onde leur correspondant. De part la structure tridimensionnelle obtenue, on appelle l'ensemble un cube hyper-spectral. L'appellation image hyper-spectrale peut également être employée pour désigner la même entité.

Un cube hyper-spectral contient une quantité importante de données. Cependant, dans de tels cubes, on retrouve de grands espaces vides en terme d'information et des sous-espaces contenant beaucoup d'information. La projection des données dans un espace de dimension inférieure permet donc de regrouper l'information utile dans un espace réduit en n'engendrant que très peu de perte d'information. Cette réduction est alors importante pour la classification.

On rappelle que le but de la classification est de déterminer parmi l'ensemble des pixels composant l'image hyper-spectrale, ceux qui répondent favorablement ou défavorablement à une relation de classement à deux états. Il est ainsi possible de déterminer les parties d'une scène présentant une caractéristique ou une substance. Le classement peut être réalisé au moins de deux manières différentes, par poursuite de projection et séparation à vaste marge ou par décomposition en composantes indépendantes.

Lorsque le classement est réalisé par poursuite de projection et séparation à vaste marge, il comprend essentiellement deux étapes. Une première étape correspond à une étape de poursuite de projection au cours de laquelle le cube hyper-spectral va être réduit par projection sur des vecteurs de projection afin d'obtenir une image hyper-spectrale réduite. Une deuxième étape correspond à une étape de séparation à vaste marge au cours de laquelle les pixels de l'image hyper-spectrale réduite vont être classés selon une relation de classement à deux états.

Lorsque le classement est réalisé par décomposition en composantes indépendantes (ACI), encore appelée séparation de

sources, on applique une méthode qui vise à décomposer une image hyper-spectrale en, au maximum, autant de composantes que d'images formant l'image hyper-spectrale, de telle sorte que ces composantes soient statistiquement indépendantes les unes des autres.

5 Mathématiquement, la séparation de source linéaire se présente comme suit :

$$X_{ij} = A.S_{ij} + B_{ij} \quad (\text{Eq. 1})$$

Dans ce modèle, l'analyse est réalisée sur chaque vecteur pixel individuellement car l'on s'intéresse uniquement à l'information spectrale. Par information spectrale, on entend la variation d'intensité en fonction de la longueur d'onde pour un pixel donné (c'est-à-dire lorsque les coordonnées (x;y) du pixel sont fixes). Faire une analyse en composantes indépendantes d'une image hyper-spectrale, revient donc à déterminer la matrice de mélange A, après avoir débruité l'image.

La matrice A contient, sur chaque colonne k, la combinaison des bandes spectrales qui permet de retrouver la k^{ième} composante pure.

Le vecteur S_{ij} , qui contient les proportions de chacune des composantes pures constituant le vecteur X_{ij} , doit respecter les contraintes suivantes:

$$\forall k \in [0, N], S_{ij}(k) \geq 0 \quad (\text{Eq. 2})$$

et

$$\sum_{k=1}^N S_{ij}(k) = 1 \quad (\text{Eq. 3})$$

En effet, une composante qui a une valeur négative sur un vecteur n'a pas de sens (l'intensité mesurée à une longueur d'onde donnée est au moins nulle, une intensité négative n'ayant pas de sens physique). De même, une composante dont la somme des proportions est différente de l'unité n'aurait pas de sens, puisque une partie serait manquante.

Le modèle linéaire de séparation de source définit ci-dessus présente deux indéterminations. En effet, la permutation des colonnes

de A, modifie l'ordre des sources. Le modèle est donc défini à une permutation près. De plus, si l'on multiplie les colonnes de A par des constantes non nulles, cela induit une seconde indétermination du modèle, concernant cette fois-ci l'amplitude des sources. Cette
5 seconde indétermination pour le cas particulier où la constante multiplicative est égale à -1, fait apparaître le négatif d'une source.

L'élément crucial quant à la réussite d'une décomposition en composantes indépendantes réside dans l'estimation de la matrice de mélange A. Pour faire cette estimation de A, deux familles
10 d'algorithmes peuvent être distinguées.

La première consiste à estimer A itérativement, par des méthodes apparentées à la descente de gradient, en optimisant un critère d'indépendance entre les composantes. Ce type de méthode est donc très proche de celles utilisées précédemment pour la poursuite de
15 projection.

La seconde famille d'algorithmes permet d'estimer A, en définissant l'indépendance entre les composantes grâce aux matrices des cumulants. Ainsi, A est construite par diagonalisation des matrices des cumulants. Dans une publication (« High order contrasts for
20 independent component Analysis », Neural Computation, Vol.11, no. 1, pp 157-192, Janvier 1999, J.F. Cardoso et al.), Cardoso montre que le fait de choisir les cumulants d'ordre deux et quatre permet d'avoir une méthode mathématiquement équivalente à une analyse en composantes indépendantes par minimisation de l'indice de Kullback-
25 Leibler.

Les méthodes de réduction de données hyper-spectrales par analyse en composantes indépendantes permettent d'obtenir un cube réduit d'image hyper-spectrale. Cependant, comme pour la méthode de poursuite de projection et de séparation à vaste marge, la présence de
30 reliefs ou d'ombres peut engendrer un problème de détection.

Ainsi quelle que soit la méthode de réduction des données d'un cube hyper-spectral, il est important de réaliser un prétraitement au cube hyper-spectral de manière à compenser au mieux ces effets de

relief, afin de favoriser la classification des pixels se situant dans les zones de relief ou influencés par les zones de relief.

Lorsque l'on considère la réduction par poursuite de projection et séparation à vaste marge, deux méthodes de compensation peuvent être appliquées. Une première méthode est une méthode de compensation par normalisation.

Lorsque l'on applique l'algorithme de poursuite de projection suivi d'une séparation à vaste marge (SVM) directement sur un cube de données, il apparaît des non-détections au niveau des zones où il y a du relief dans l'image. Pour pouvoir détecter les caractéristiques de ces zones, il faut donc appliquer un prétraitement au cube image de manière à compenser au mieux ces effets de relief.

Afin de compenser les effets de relief, on utilise une image ne comprenant que des informations relatives au relief, et dénuée d'informations susceptibles de classement par le SVM. On peut par exemple se placer dans une zone du spectre dans laquelle l'onde électromagnétique ne réagira pas avec les constituants de la scène analysée. Chacune des images du cube est alors divisée pixel à pixel par l'image de référence. Il en résulte une bonne compensation des effets d'ombres sur les bords des images.

Une deuxième méthode est une méthode de compensation par soustraction.

Toujours à partir d'une image de référence ne comprenant que des informations relatives au relief, on propose une méthode de normalisation par soustraction du relief à l'ensemble des images du cube. Pour réaliser le modèle du relief, on introduit une image C qui mesure la différence de niveaux, entre le maximum de l'image de référence, et l'ensemble des pixels de l'image de référence :

$$C(i, j) = \text{Max}(IR) - IR(i, j) \quad (\text{Eq. 1})$$

IR représentant une image proche infrarouge, et i,j les indices de position de chaque pixel dans l'image.

Ensuite, chacune des images du cube peut être compensée par cette image C :

$$I_{\lambda_c} = I_{\lambda} + z \cdot C \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\text{avec } z = \frac{\max(\lambda) - \min(\lambda)}{\max(IR) - \min(IR)}$$

et avec I_λ représentant une image du cube, et I_{λ_c} cette même image après compensation. Un facteur z est introduit de manière à palier les différences d'échelles entre les images. Le facteur z est le rapport entre l'écart entre l'intensité maximale et l'intensité minimale d'une image du cube hyper-spectral noté λ et l'écart entre l'intensité maximale et l'intensité minimale de l'image de référence notée IR .

La méthode de compensation par soustraction, également appelée méthode de compensation par combinaison linéaire en raison de l'équation Eq. 2, permet de réduire encore plus le nombre de fausses détections par rapport à la méthode de compensation par normalisation.

En variante, il est également possible d'appliquer cette compensation non pas sur le cube initial, mais sur le cube réduit par poursuite de projection. Ainsi, on ne fait pas une compensation par une seule image de référence mais par une combinaison linéaire de plusieurs images de référence situées dans une gamme de fréquences voisine et présentant toutes la faculté de ne réagir qu'au relief de la scène observée.

Lorsque la réduction par analyse en composantes indépendantes est employée, il n'est pas possible de compenser les reliefs grâce à un prétraitement. Si on réalise une compensation par prétraitement, on ne fait que translater ou multiplier chacune des images par une même image (au facteur z près dans le cas de la compensation par soustraction), ce qui donne un cube équivalent au premier du point de vue de l'ACI.

Pour diminuer les effets de relief, la compensation est donc appliquée en post-traitement sur la source sélectionnée.

Si l'on compense la source par normalisation par une bande donnée, alors, comme pour la poursuite de projection et SVM, le nombre de fausses détections dues aux ombres diminue, mais pas les fausses détections dues aux reliefs. Enfin, la compensation par

soustraction permet à la fois de diminuer les fausses détections dues aux reliefs et aux ombres.

5 Le dispositif de compensation du relief comprend au moins un capteur 1 apte à produire au moins une image hyper-spectrale dans au moins deux longueurs d'ondes, un moyen de calcul 2 apte à traiter les données reçues d'un capteur. Un moyen d'affichage 3 est apte à afficher au moins une image classée provenant du moyen de calcul 2.

Selon la méthode de réduction des données hyper-spectrales, différents moyens de calcul 2 peuvent être considérés.

10 Dans un mode de réalisation, le moyen de calcul 2 comprend au moins un moyen de calcul 4 d'une poursuite de projection, et au moins un moyen de réalisation 5 d'une séparation à vaste marge.

15 Dans un autre mode de réalisation, le moyen de calcul 2 comprend un moyen de calcul 12 par analyse en composantes indépendantes.

Le moyen de calcul 2 comprend en outre un moyen de compensation 6 du relief en fonction d'au moins une image de référence.

20 Dans une variante du premier mode de réalisation illustré par la figure 1, le moyen de compensation 6 du relief est situé entre le moyen de calcul 4 d'une poursuite de projection et le moyen de réalisation 5 d'une séparation à vaste marge.

25 Dans une autre variante du premier mode de réalisation illustré par la figure 2, le moyen de compensation 6 du relief est situé entre le capteur 1 et le moyen de calcul 4 d'une poursuite de projection.

Dans le deuxième mode de réalisation illustré par la figure 3, le moyen de compensation 6 du relief est situé entre le moyen de calcul 12 par analyse en composantes indépendantes et le moyen d'affichage 3.

30 Le procédé de compensation du relief d'une image hyper-spectrale à au moins deux longueurs d'ondes, comprenant une étape de calcul apte à traiter les données reçues d'une étape 7 d'acquisition, et une étape 11 d'affichage apte à afficher au moins une image classée provenant de l'étape de calcul.

Selon la méthode de réduction des données hyper-spectrales, différentes étapes de calcul peuvent être considérés.

5 Dans un mode de réalisation illustré par les figures 4 et 5, l'étape de calcul comprend au moins une étape de calcul 8 d'une poursuite de projection, suivie d'au moins une étape 10 de réalisation d'une séparation à vaste marge.

Dans un autre mode de réalisation illustré par la figure 6, l'étape de calcul comprend une étape de calcul 13 par analyse en composantes indépendantes.

10 L'étape de calcul comprend en outre une étape 9 de compensation du relief en fonction d'au moins une image de référence.

Dans une variante du premier mode de réalisation illustré par la figure 4, l'étape 9 de compensation du relief est située entre l'étape d'acquisition 7 de l'image hyper-spectrale par au moins un capteur 1 et l'étape de 8 calcul d'une poursuite de projection.

15 Dans une autre variante du premier mode de réalisation illustré par la figure 5, l'étape 9 de compensation du relief est située entre l'étape de calcul 8 d'une poursuite de projection et l'étape 10 de réalisation d'une séparation à vaste marge.

20 Dans le deuxième mode de réalisation illustré par la figure 6, l'étape 9 de compensation du relief est située entre l'étape de calcul 13 par analyse en composantes indépendantes et l'étape 11 d'affichage.

25 Par ailleurs, l'image de référence permettant la compensation du relief peut être une image unique représentant le relief à compenser, ou une image à une longueur d'onde donnée également représentative du relief à compenser, ou une combinaison linéaire de plusieurs images de référence.

30 Dans le cadre d'une application dermatologique, on cherche à déterminer la présence de lésions cutanées. La peau réagit très peu au rayonnement en proche infrarouge. Les images prises à ces longueurs d'onde ne contiennent alors quasiment que les reliefs dus à la morphologie du patient (nez bouche,..), et les ombres de bords d'image. Les images de références sont donc prises soit dans la gamme

infrarouge, soit dans la gamme proche infrarouge, soit dans une combinaison linéaire des deux dans le cas où l'on choisit un vecteur de projection situé dans l'infrarouge et déterminé par l'étape de poursuite de projection pour compenser l'image hyper-spectrale réduite issue
5 elle aussi de la poursuite de projection.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de compensation du relief d'au moins une image hyper-spectrale comprenant au moins un capteur (1) apte à produire au moins une image hyper-spectrale dans au moins deux longueurs d'ondes,
- 5 un moyen de calcul (2) apte à classer les pixels de l'image hyper-spectrale issue du capteur (1) en fonction d'une relation de classement à deux états,
- 10 un moyen d'affichage (3) apte à afficher au moins une image fonction des pixels classés provenant du moyen de calcul (2), caractérisé en ce que le moyen de calcul (2) comprend un moyen de compensation (6) du relief en fonction d'au moins une image de référence.
- 15 2. Dispositif de compensation selon la revendication 1, dans lequel le moyen de compensation du relief est apte à combiner linéairement une image de référence avec une image hyper-spectrale.
- 20 3. Dispositif de compensation selon la revendication 2, dans lequel le moyen de compensation du relief est apte à combiner linéairement une image de référence avec une image hyper-spectrale en combinant linéairement l'intensité de chacun des pixels de chaque longueur d'onde de l'image hyper-spectrale avec l'intensité du pixel correspondant de l'image de référence.
- 25 4. Dispositif de compensation selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'image de référence est une image d'une longueur d'onde donnée comprise dans l'image hyper-spectrale générée par le capteur.
- 30 5. Dispositif de compensation selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'image de référence est une image comprise dans l'image hyper-spectrale réduite générée par le moyen de calcul (2).
6. Dispositif de compensation selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le moyen de calcul (2) comprend au

moins un moyen de calcul (4) d'une poursuite de projection, et au moins un moyen de réalisation (5) d'une séparation à vaste marge.

5 7. Dispositif de compensation selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le moyen de calcul (2) comprend au moins un moyen d'analyse (12) en composantes indépendantes.

8. Application du dispositif d'analyse selon l'une des revendications 1 à 7, à la détection de lésions cutanées d'un être humain, l'image de référence est acquise par un capteur dans une longueur d'onde située dans le domaine infrarouge.

10 9. Application du dispositif d'analyse selon l'une des revendications 1 à 7, à la détection de lésions cutanées d'un être humain, l'image de référence est acquise par un capteur dans une longueur d'onde située dans le domaine proche infrarouge.

15 10. Application du dispositif d'analyse selon la revendication 1 à 6, à la détection de lésions cutanées d'un être humain, l'image de référence correspond à une image composite issue de la poursuite de projection correspondant à la projection sur un vecteur d'images réalisées dans l'infrarouge et le proche infrarouge.

20 11. Procédé de compensation du relief d'au moins une image hyper-spectrale provenant d'au moins un capteur apte à produire au moins une image hyper-spectrale dans au moins deux longueurs d'ondes,

25 comprenant au moins une étape de calcul apte à classer les pixels de l'image hyper-spectrale issue du capteur en fonction d'une relation de classement à deux états, et une étape d'affichage apte à afficher au moins une image fonction des pixels classés provenant de l'étape de calcul,

caractérisé en ce que l'étape de calcul comprend une étape de compensation du relief en fonction d'au moins une image de référence.

30 12. Procédé de compensation selon la revendication 11, dans lequel, au cours de l'étape de compensation du relief, on combine linéairement une image de référence avec une image hyper-spectrale.

13. Procédé de compensation selon la revendication 12, dans lequel on combine linéairement une image de référence avec une image

hyper-spectrale en combinant linéairement l'intensité de chacun des pixels de chaque longueur d'onde de l'image hyper-spectrale avec l'intensité du pixel correspondant de l'image de référence.

5 14. Procédé de compensation selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, dans lequel l'image de référence est une image d'une longueur d'onde donnée comprise dans l'image hyper-spectrale générée par le capteur.

10 15. Procédé de compensation selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, dans lequel l'image de référence est une image comprise dans l'image hyper-spectrale réduite issue de l'étape de calcul d'une poursuite de projection.

15 16. Procédé de compensation selon l'une quelconque des revendications 11 à 15, dans lequel l'étape de calcul comprend au moins une étape de calcul d'une poursuite de projection, et au moins une étape de réalisation d'une séparation à vaste marge.

17. Procédé de compensation selon l'une quelconque des revendications 11 à 14, dans lequel l'étape de calcul comprend au moins une étape d'analyse (13) en composantes indépendantes.

FIG.1

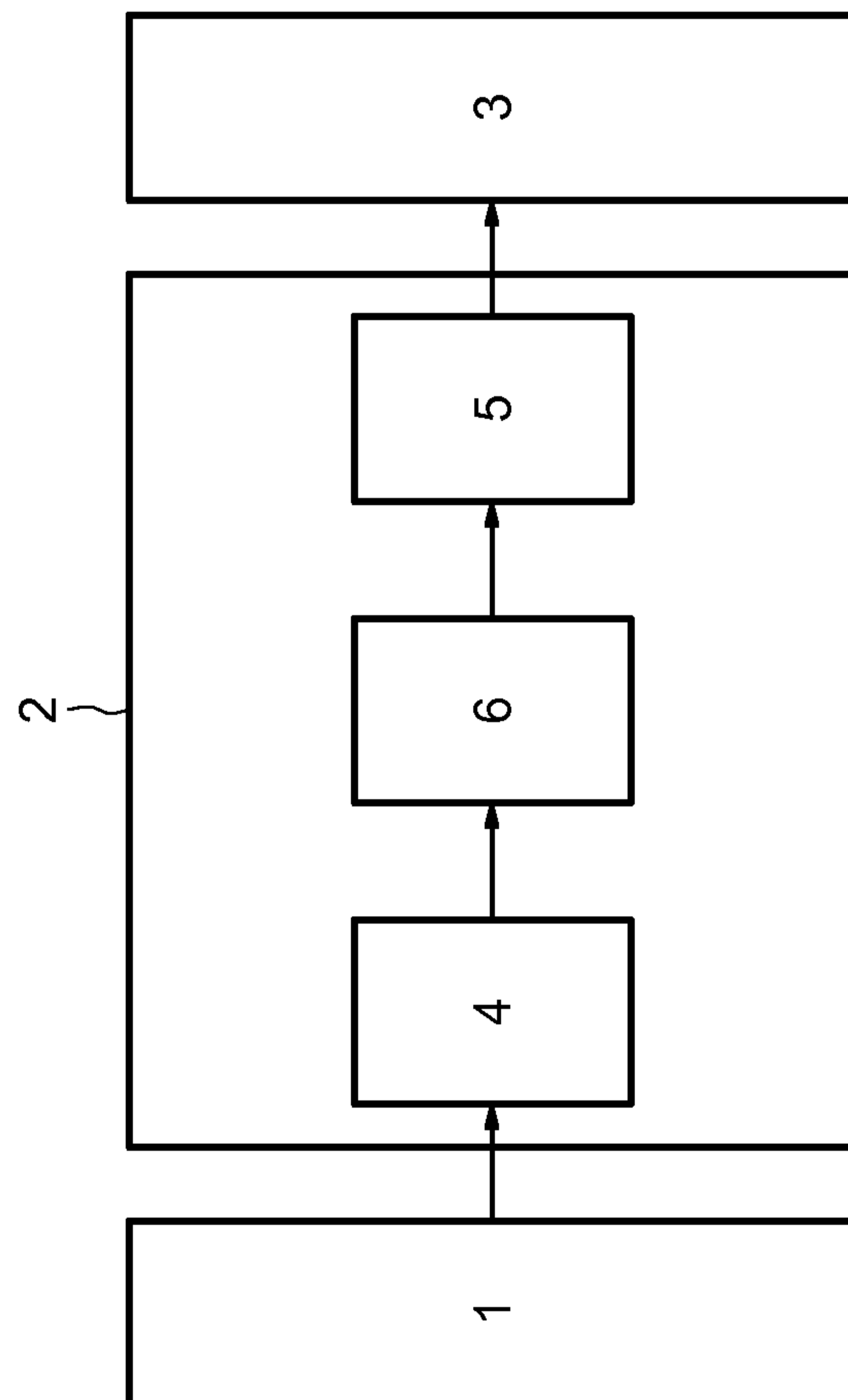


FIG.2

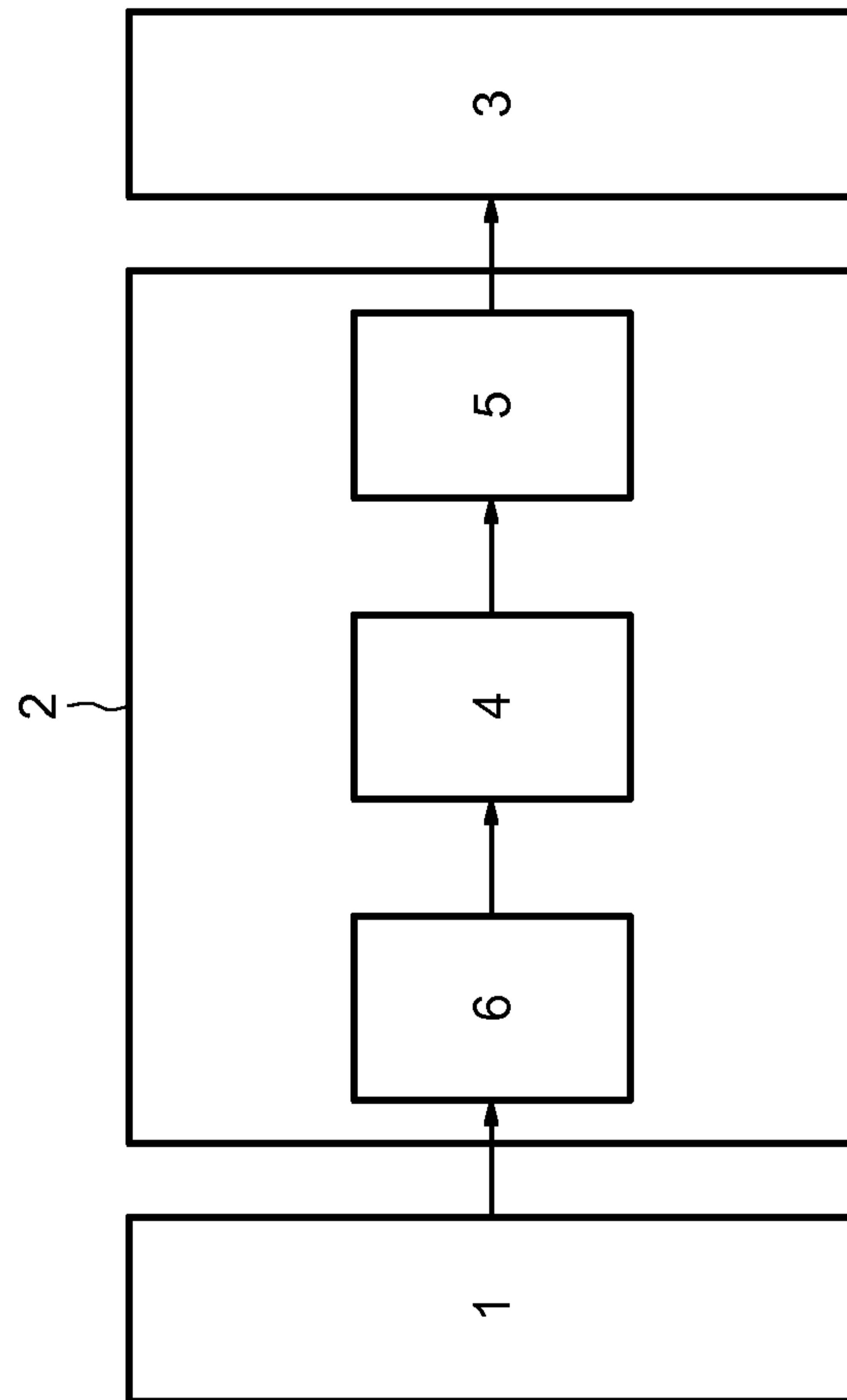


FIG.3

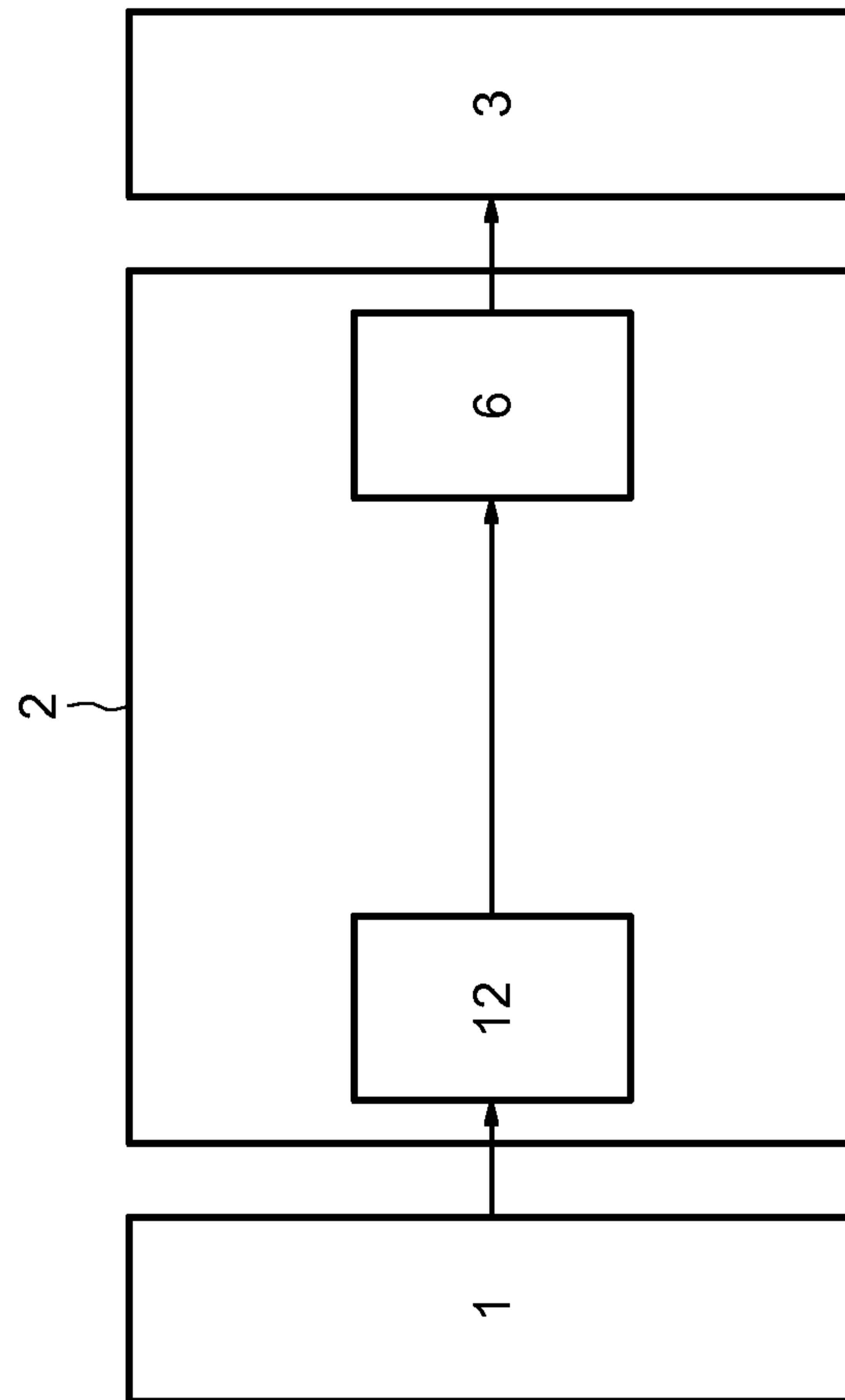


FIG.4

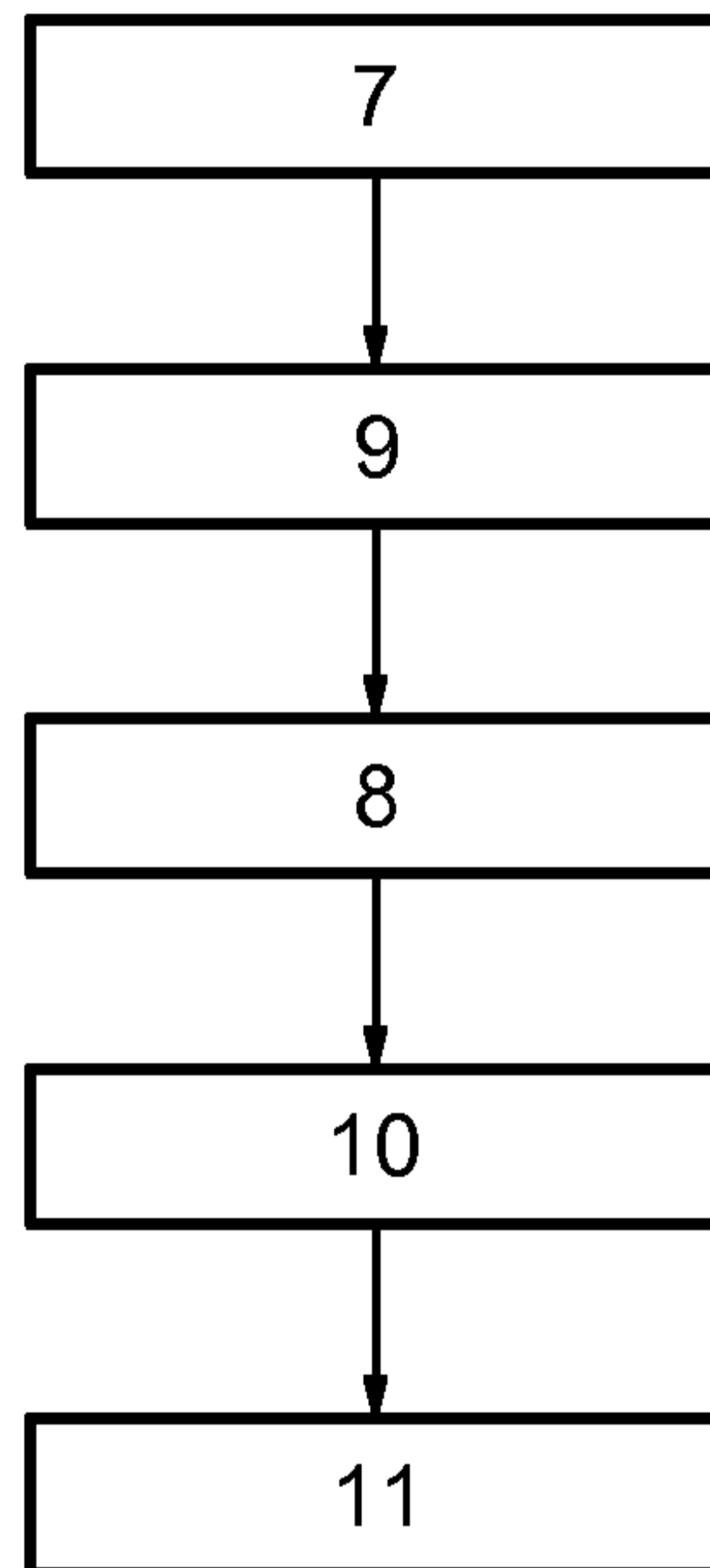


FIG.5

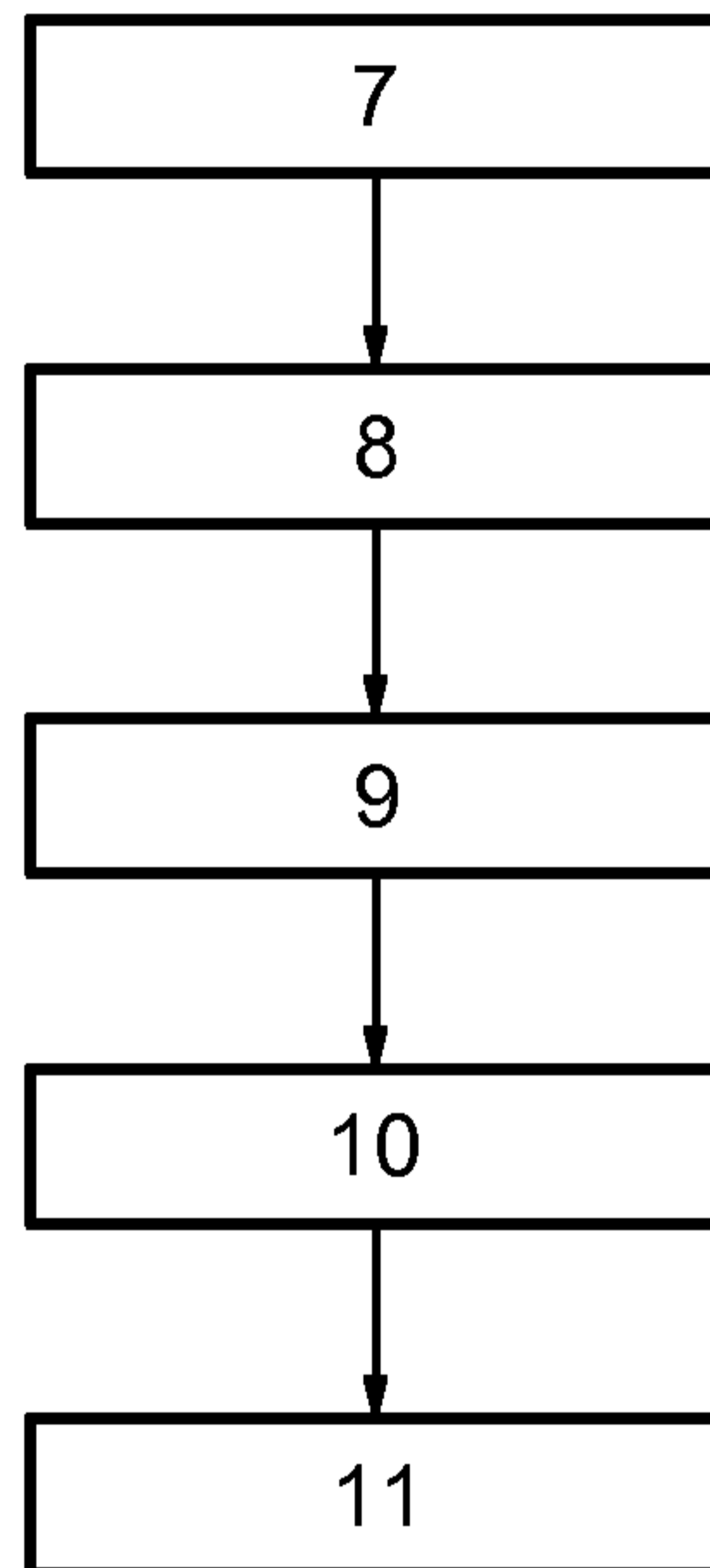


FIG.6

