

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①1 N° de publication : **3 133 099**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **22 01763**

⑤1 Int Cl⁸ : **G 06 V 10/82** (2022.01), G 06 T 7/11, G 06 N 3/02,
G 06 F 18/21

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 **SYSTÈME ET PROCÉDÉ DE SEGMENTATION D'IMAGE SEMI-AUTOMATIQUE PAR APPRENTISSAGE À BOUCLE D'INTERACTION UTILISATEUR ET PROCÉDÉ D'ENTRAÎNEMENT ASSOCIÉ.**

②2 **Date de dépôt** : 28.02.22.

③0 **Priorité** :

④3 **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 01.09.23 Bulletin 23/35.

④5 **Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention** : 19.07.24 Bulletin 24/29.

⑤6 **Liste des documents cités dans le rapport de recherche** :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

Demande(s) d'extension : Polynésie-Fr

⑦1 **Demandeur(s)** : *SURGAR Société par actions simplifiée —FR, UNIVERSITÉ CLERMONT-AUVERGNE Etablissement public national à caractère scientifique, culturel et professionnel FR, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE Etablissement public national à caractère administratif FR et CLERMONT AUVERGNE INP Etablissement public national à caractère scientifique, culturel et professionnel — FR.*

⑦2 **Inventeur(s)** : BARTOLI Adrien et MIKHAILOV Ivan.

⑦3 **Titulaire(s)** : *SURGAR Société par actions simplifiée, UNIVERSITÉ CLERMONT-AUVERGNE (EPSCP), CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (EPA), CLERMONT AUVERGNE INP (EPSCP).*

⑦4 **Mandataire(s)** : BRINGER IP.

FR 3 133 099 - B1



Description

Titre de l'invention : SYSTÈME ET PROCÉDÉ DE SEGMENTATION D'IMAGE SEMI-AUTOMATIQUE PAR APPRENTISSAGE À BOUCLE D'INTERACTION UTILISATEUR ET PROCÉDÉ D'ENTRAÎNEMENT ASSOCIÉ

Domaine technique de l'invention

[0001] L'invention concerne un système de segmentation d'image 2D ou 3D comprenant un réseau neuronal, un procédé de segmentation d'image utilisant ce système et un procédé d'entraînement du système de segmentation, en particulier de son réseau neuronal. L'invention est notamment destinée à la segmentation d'images médicales, par exemple provenant d'imagerie par résonance magnétique (IRM) ou d'une tomodensitométrie (TDM) pour l'identification d'organes sur chacune des images de coupe obtenues par l'IRM ou la TDM afin de recréer une modélisation 3D de l'organe à partir de ces segmentations.

Arrière-plan technologique

- [0002] La segmentation d'images est une technique permettant d'associer à chaque pixel ou voxel d'une image 2D ou 3D un label représentatif de l'objet, de la texture ou de l'état, etc. correspondant audit pixel ou voxel.
- [0003] La segmentation d'image est notamment utilisée dans un contexte médical pour déterminer les organes, les tissus, les fluides, etc. visibles sur une image 2D ou 3D. Une telle image est par exemple obtenue par IRM et permet de former un modèle 3D de l'organe visé et par exemple de son environnement et de la tumeur à opérer. Cette création d'un modèle 3D nécessite la segmentation des images obtenues par l'IRM.
- [0004] Les techniques de segmentation actuelles se répartissent en plusieurs catégories : les segmentations manuelles, semi-automatiques (aussi appelées interactives) ou entièrement automatiques.
- [0005] L'approche manuelle est longue à mettre en œuvre, chaque pixel ou voxel devant être catégorisé un par un par un utilisateur et peut ainsi nécessiter plusieurs heures pour une seule coupe.
- [0006] L'approche automatique permet la segmentation sans intervention d'un utilisateur mais l'absence de contrôle peut affecter négativement le résultat et donc l'application en pratique. En outre, le résultat n'est jamais parfait et pour obtenir un meilleur résultat, l'opérateur humain doit pouvoir garder un contrôle pour des raisons de validation, et donc pouvoir corriger les erreurs.
- [0007] La méthode semi-automatique permet une interactivité dans laquelle la segmentation

est à la fois majoritairement automatique mais avec un degré de contrôle par un utilisateur, qui peut notamment agir sur l'initialisation et sur une modification au cours de certaines étapes.

[0008] Les différents procédés de segmentation peuvent mettre en œuvre des méthodes basées sur l'apprentissage profond, en particulier en utilisant des réseaux neuronaux artificiels. L'apprentissage profond est particulièrement utilisé pour les procédés complètement automatiques, mais peu de solutions de segmentation semi-automatiques mettent en œuvre un apprentissage profond. Les réseaux neuronaux ont permis d'améliorer grandement les performances des solutions de segmentation automatique, mais les segmentations semi-automatiques n'ont pas bénéficié de ces améliorations faute de solution pour réussir l'intégration de réseau neuronal.

[0009] En particulier, l'utilisation de réseaux neuronaux dans une segmentation semi-automatique pose des problèmes de prise en compte des interactions de l'utilisateur pendant l'entraînement du réseau neuronal. Cette prise en compte des interactions de l'utilisateur engendre des problèmes d'entraînement du système, car les données d'entraînement doivent s'adapter à la sortie du réseau neuronal qui n'est pas entraîné en début de processus.

[0010] Les solutions proposées pour répondre à ces problématiques ne fournissent pas les performances souhaitées, notamment car les interactions de l'utilisateur ne sont pas prises en compte de façon dynamique et ont peu d'impact sur la qualité de l'entraînement, car elles se focalisent sur les données d'entrée.

[0011] Les inventeurs ont ainsi cherché à améliorer les solutions de segmentation semi-automatique pour permettre une meilleure prise en compte des interactions de l'utilisateur, notamment lors de l'entraînement.

Objectifs de l'invention

[0012] L'invention vise à fournir un système et un procédé de segmentation semi-automatique d'images, en particulier pour des images de type médicales, par exemple des coupes obtenues par IRM.

[0013] L'invention vise également à fournir un procédé d'entraînement d'un tel système de segmentation.

[0014] L'invention vise à fournir, dans au moins un mode de réalisation, un système de segmentation semi-automatique pouvant être entraîné facilement en simulant des interactions utilisateurs.

[0015] L'invention vise à fournir, dans au moins un mode de réalisation, un système de segmentation dont le fonctionnement et l'entraînement permettent la prise en compte de résultats de segmentation antérieurs.

[0016] L'invention vise à fournir, dans au moins un mode de réalisation, un système de segmentation dont le fonctionnement et l'entraînement permettent la prise en compte des

interactions utilisateur antérieures.

Exposé de l'invention

- [0017] Pour ce faire, l'invention concerne un système de segmentation d'image semi-automatique comprenant un réseau neuronal configuré pour, à chaque itération, recevoir des données d'entrée comprenant au moins une image à segmenter et pour fournir des données de sortie comprenant au moins un masque de segmentation de chaque image,
- [0018] caractérisé en ce qu'il comprend en outre une boucle d'interaction d'utilisateur comprenant un module d'interaction utilisateur configuré pour fournir au moins un masque utilisateur représentatif d'une interaction d'un utilisateur réel et/ou d'un utilisateur simulé sur chaque masque de segmentation, ladite boucle d'interaction d'utilisateur étant configuré pour fournir, en tant que données d'entrée du réseau neuronal :
- [0019] – chaque masque de segmentation fourni par ledit réseau neuronal provenant d'une itération précédente du réseau neuronal, dit masque de segmentation passée, et
 - le masque utilisateur associé à chaque masque de segmentation passée.
- [0020] Un système de segmentation d'image selon l'invention permet donc de prendre en compte les interactions d'utilisateur à la fois lors de l'entraînement et de l'utilisation pour la segmentation d'image, et d'associer ces interactions d'utilisateur à un masque de segmentation obtenu en sortie de réseau neuronal comme nouvelle entrée du réseau neuronal.
- [0021] En particulier, les données d'entraînement ne sont pas obtenues uniquement par la récupération d'un grand jeu de données mais sont générées par le système de segmentation lui-même grâce à la boucle d'interaction utilisateur. Le masque utilisateur s'adapte en fonction des données de sortie du réseau et ne peut donc pas être préparé à l'avance. Sans cette boucle, comme dans les systèmes de segmentation automatique, le système serait uniquement entraîné à partir des images à segmenter et donc ne pourrait pas, à l'utilisation, prendre en compte les interactions utilisateurs. Utiliser uniquement un jeu de données d'entrée sans la boucle ne permettrait donc pas d'obtenir un résultat satisfaisant, quel que soit le volume de ce jeu de données d'entrée.
- [0022] En outre, l'utilisation du masque de segmentation de sortie en tant qu'entrée permet d'introduire une séquentialité du traitement des données en prenant en compte les masques de segmentation passés dans la définition d'une meilleure segmentation future. L'utilisation du masque de segmentation de sortie et de l'interaction utilisateur en tant que données d'entrée permet de constituer une mémoire interne séquentielle qui permet de garder une trace des segmentations et interactions utilisateur passées pour

maintenir la séquentialité du système. En particulier, la mémoire interne séquentielle garde toutes les interactions utilisateur et les masques de segmentation précédents obtenus en sortie du réseau neuronal, pour les fournir comme nouvelle entrée du réseau neuronal. La segmentation est par ailleurs accélérée car les interactions utilisateur séquentielles ont davantage d'impact sur le résultat.

- [0023] La boucle d'interaction utilisateur est utilisée à la fois lors de l'entraînement du réseau neuronal, lors du test du système de segmentation à partir de données de tests et lors de l'utilisation du système de segmentation pour des nouvelles données.
- [0024] On entend par interaction par un utilisateur réel une interaction par un utilisateur humain qui interagit directement avec le masque de segmentation proposé en sortie. On entend par interaction par un utilisateur simulé la simulation d'une interaction comme pourrait le faire un utilisateur humain, défini par un algorithme de simulation d'interaction utilisateur. L'interaction utilisateur est par exemple l'affectation, à un point précis de l'image segmentée, d'un label particulier.
- [0025] L'interaction utilisateur permet notamment d'apporter une correction au masque de segmentation obtenu en sortie du réseau neuronal, par exemple en indiquant des zones de l'image 2D ou 3D qui n'ont pas été correctement labellisées. La prise en compte de l'utilisateur dès l'entraînement du système permet d'améliorer l'impact des corrections utilisateur lors de l'utilisation du système. Le système de segmentation d'image peut réaliser lui-même la segmentation initiale lorsqu'il est entraîné et prend en compte les corrections utilisateur pour une amélioration de la segmentation. La segmentation initiale peut être triviale, en particulier peu ou non informative, ou calculée par une autre méthode de segmentation, typiquement une méthode entièrement automatique.
- [0026] Le système peut avantageusement être utilisé pour la segmentation d'images IRM mais peut être appliquées à d'autres types d'images 2D ou 3D, de type médicales ou non. Le système peut être intégré dans un système plus large utilisant les résultats de la segmentation pour une application particulière, par exemple pour une création d'un modèle 3D à partir des données segmentées et un affichage du modèle 3D en réalité augmentée sur une vidéo.
- [0027] Le réseau neuronal peut être de différent type, le système de segmentation ne dépendant pas d'un réseau neuronal particulier pour son utilisation. En effet, le système de segmentation d'image se caractérise particulièrement par la boucle d'interaction utilisateur qui est extérieure au réseau neuronal. Le réseau neuronal peut intégrer des modules de type réseau neuronal récurrent ou RNN pour *recurrent neural network* en anglais.
- [0028] Un module peut par exemple consister en un dispositif informatique tel qu'un ordinateur, d'un ensemble de dispositifs informatiques, d'un composant électronique ou d'un ensemble de composants électroniques, ou par exemple d'un programme in-

formatique, d'un ensemble de programmes informatiques, d'une librairie d'un programme informatique ou d'une fonction d'un programme informatique exécuté par un dispositif informatique tel qu'un ordinateur, un ensemble de dispositifs informatiques, un composant électronique ou un ensemble de composants électroniques.

- [0029] Avantagement et selon l'invention, chaque masque utilisateur représentatif d'un utilisateur simulé comprend une simulation d'au moins une interaction opérée par l'opérateur simulé sur le masque de segmentation associé au masque utilisateur, la position de ladite interaction sur l'image étant déterminée en fonction de la différence entre ledit masque de segmentation en sortie avec une vérité terrain.
- [0030] Selon cet aspect de l'invention, la position de l'interaction simulée est déterminée pour s'approcher de ce que ferait un utilisateur réel, c'est-à-dire de positionner son interaction dans une zone qui a été mal segmentée ou labellisée, ou dans une zone qui ne présente pas de label.
- [0031] Avantagement et selon l'invention, la position de l'interaction est déterminée en fonction du centre d'une région choisie comme étant à corriger par l'interaction utilisateur.
- [0032] Avantagement et selon l'invention, le système comprend un module de coupe de graphe configuré pour appliquer une coupe de graphe aux données de sortie du réseau neuronal pour obtenir chaque masque de segmentation.
- [0033] Selon cet aspect de l'invention, cette étape permet le lissage des données de sortie par utilisation d'un algorithme de coupe de graphe (*graph cut* en anglais) pour améliorer la pertinence des labels intégrés au masque de segmentation. L'algorithme de coupe de graphe est applicable pour une segmentation binaire et des algorithmes dérivés sont utilisés pour des segmentations multi-classes.
- [0034] L'invention concerne également un procédé d'entraînement d'un système de segmentation d'image selon l'invention, via au moins un jeu de données comprenant des images à segmenter, caractérisé en ce qu'il comprend, pour chaque image du jeu de données :
- [0035] – au moins deux itérations dans lesquelles le réseau neuronal traite les données d'entrées pour fournir des données de sortie, une première itération dans laquelle les données d'entrées comprennent au moins une image à segmenter et un masque d'initialisation prédéfini, et des itérations suivantes dans laquelle les données d'entrées comprennent chaque image à segmenter, chaque masque de segmentation passée obtenu à l'itération précédente, et un masque utilisateur représentatif d'une interaction d'un utilisateur réel et/ou d'un utilisateur simulé,
- une étape de mise à jour des poids du réseau neuronal à partir des données de sortie après chaque itération ou lorsqu'un nombre prédéterminé d'itérations

ont été effectuées par le réseau neuronal.

- [0036] Un procédé d'entraînement selon l'invention permet de simuler les interactions utilisateurs pour maximiser l'efficacité de l'entraînement et la pertinence du réseau neuronal à l'issue de l'entraînement. Contrairement aux modèles classiques de l'art antérieur dans lequel une mise à jour des poids est réalisée après chaque itération, le procédé d'entraînement selon l'invention utilise avantageusement la boucle d'interaction utilisateur du système pour permettre l'utilisation d'une simulation d'interaction utilisateur et des données de sortie, c'est-à-dire le masque de segmentation d'une itération précédente, comme données d'entrée du système. Ainsi, le système de segmentation d'image permet d'améliorer la simulation d'interaction d'utilisateur en se basant sur des contrôles de qualité de la segmentation obtenu, et de prendre en compte les masques de segmentation et interactions d'utilisateur passées. L'entraînement permet ainsi la réduction du nombre de faux positifs et de faux négatifs en simulant ce qu'un utilisateur ferait lors du contrôle de la qualité de la segmentation.
- [0037] La séquence d'entraînement formée par la suite d'itération permet d'améliorer la précision des corrections et ainsi d'augmenter la qualité de la segmentation à chaque itération.
- [0038] La mise à jour des poids est par exemple mise en œuvre par un algorithme de minimisation de la fonction de perte, dont le gradient est par exemple calculé par rétropropagation. La mise à jour des poids peut être mise en œuvre à chaque itération, notamment à chaque fois que des données de sorties sont produites par le réseau neuronal, ou seulement à la fin de toutes les itérations pour que la mise à jour des poids ne s'effectue qu'à partir de la meilleure segmentation obtenue.
- [0039] Le masque d'initialisation est par exemple un masque trivial, un masque vide, un masque obtenu par une pré-segmentation automatique ou un masque dérivé de la vérité terrain, par exemple en simulant des interactions utilisateurs à partir de cette vérité terrain.
- [0040] Lors des itérations suivantes, le masque d'initialisation est ajouté au masque utilisateur qui indique les erreurs entre le masque de segmentation obtenu en sortie du réseau neuronal et le résultat souhaité par l'utilisateur.
- [0041] Chaque jeu de données peut comprendre une ou plusieurs images, différentes ou non. Même si deux jeux de données comprennent les mêmes images, le procédé d'entraînement traitera deux images identiques de façon différente grâce aux interactions utilisateur simulées qui permettent des modifications dans l'entraînement.
- [0042] Les interactions utilisateurs simulées sont obtenues à partir d'une vérité terrain. La vérité terrain est formée par des données labellisées prédéfinies et à partir desquelles est déterminée l'erreur entre le masque de segmentation obtenu en sortie du réseau neuronal avec le résultat souhaité. L'entraînement est ainsi supervisé grâce à des

données préalablement segmentées, pour lesquelles les régions de l'image ont des labels qui leur sont attribués. La vérité terrain est plus communément appelée « *ground truth* » en anglais.

- [0043] Dans les procédés de segmentation de l'art antérieur, l'entraînement est généralement effectué uniquement à partir de ces données labellisées qui ne suffisent pas puisque l'utilisateur et les masques de segmentation de l'itération précédente ne sont pas pris en compte dans l'entraînement. En outre, le procédé d'entraînement selon l'invention permet de fournir des interactions d'utilisateur simulées différentes pour la même image, comme ce serait le cas avec un utilisateur réel qui ne fournira jamais le même masque utilisateur pour une même image.
- [0044] Avantageusement et selon l'invention le nombre prédéterminé d'itérations est variable pour chaque image à segmenter et pour chaque jeu de donnée.
- [0045] Selon cet aspect de l'invention, le nombre d'itérations est prédéterminé lors du traitement d'un jeu de données ou d'une image à segmenter mais peut être modifié au cours du temps afin de reproduire le comportement d'un utilisateur réel qui n'effectuera pas systématiquement le même nombre de corrections. Un nombre maximal d'itérations peut être fixé pour éviter que l'entraînement soit trop long.
- [0046] L'invention concerne également un procédé de segmentation d'image semi-automatique comprenant à chaque itération une étape de traitement de données d'entrées comprenant chaque image à segmenter par un réseau neuronal pour fournir des données de sortie comprenant au moins un masque de segmentation de chaque image,
- [0047] caractérisé en ce que chaque itération comprend en outre :
- [0048] – une étape de réception d'un masque utilisateur représentatif d'une interaction d'un utilisateur réel sur chaque masque de segmentation,
- une étape de transmission, en tant que données d'entrée du réseau neuronal à l'itération suivante, de chaque masque de segmentation fourni par ledit réseau neuronal, et du masque utilisateur
- [0049] Selon cet aspect de l'invention, le procédé de segmentation d'image permet la prise en compte des interactions de l'utilisateur autant de fois que nécessaire jusqu'à ce que l'utilisateur considère que la qualité de la segmentation de l'image est conforme à ses attentes. Si la qualité n'est pas suffisante, les interactions de l'utilisateur et le masque de segmentation sont transmises en tant que données d'entrée pour fournir un nouveau masque de segmentation.
- [0050] Avantageusement, le système de segmentation d'image selon l'invention est configuré pour mettre en œuvre le procédé de segmentation d'image selon l'invention.
- [0051] Avantageusement, le procédé de segmentation d'image selon l'invention est mis en œuvre par un système de segmentation d'image selon l'invention.

- [0052] L'invention concerne également un produit programme d'ordinateur d'entraînement d'un système de segmentation d'image selon l'invention ledit produit programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution, lorsque ledit produit programme d'ordinateur est exécuté sur un ordinateur, des étapes du procédé d'entraînement selon l'invention.
- [0053] L'invention concerne également un produit programme d'ordinateur de segmentation d'image semi-automatique ledit produit programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution, lorsque ledit produit programme d'ordinateur est exécuté sur un ordinateur, des étapes du procédé de segmentation d'image selon l'invention.
- [0054] L'invention concerne également un système de segmentation automatique, un procédé de segmentation automatique, un produit programme d'ordinateur de segmentation automatique, un procédé d'entraînement et un produit programme d'ordinateur d'entraînement caractérisés en combinaison par tout ou partie des caractéristiques mentionnées ci-dessus ou ci-après.

Liste des figures

- [0055] D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante donnée à titre uniquement non limitatif et qui se réfère aux figures annexées dans lesquelles :
- [0056] [Fig.1] est une vue schématique d'un système de segmentation d'image semi-automatique selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0057] [Fig.2] est une vue schématique d'un procédé de segmentation d'image semi-automatique selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0058] [Fig.3] est une représentation schématique des étapes d'un procédé d'entraînement d'un système de segmentation d'image semi-automatique selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0059] **Description détaillée d'un mode de réalisation de l'invention**
- [0060] Sur les figures, les échelles et les proportions ne sont pas strictement respectées et ce, à des fins d'illustration et de clarté.
- [0061] En outre, les éléments identiques, similaires ou analogues sont désignés par les mêmes références dans toutes les figures.
- [0062] La [Fig.1] représente schématiquement un système 10 de segmentation d'image semi-automatique selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0063] Le système 10 de segmentation comprend un réseau 12 neuronal configuré pour, à chaque itération, recevoir des données d'entrée comprenant au moins une image 14 à segmenter et pour fournir des données de sortie comprenant au moins un masque 16 de segmentation de chaque image. Le masque de segmentation définit pour chaque partie de l'image un label permettant d'identifier des régions de l'image, correspondant à une

classe particulière. La segmentation peut être binaire mais la segmentation est de préférence une segmentation multi-classes et permet d'identifier plus de deux classes de régions. En sortie de réseau neuronal, une coupe de graphe peut permettre de lisser les données de sorties pour obtenir le masque de segmentation.

[0064] Dans le cadre d'images médicales de type MRI pour une application gynécologique, des exemples de labels peuvent être l'utérus, la vessie, une éventuelle tumeur, une cavité, l'arrière-plan, etc.

[0065] Le système 10 de segmentation d'image se différencie de l'art antérieur en ce qu'il comprend en outre une boucle 18 d'interaction d'utilisateur comprenant un module 20 d'interaction utilisateur configuré pour fournir au moins un masque utilisateur représentatif d'une interaction d'un utilisateur réel et/ou d'un utilisateur simulé sur chaque masque de segmentation

[0066] La boucle 18 d'interaction d'utilisateur est configuré pour fournir, en tant que données d'entrée du réseau neuronal :

- [0067] – chaque masque 16 de segmentation fourni par ledit réseau neuronal provenant d'une itération précédente du réseau 12 neuronal, dit masque de segmentation passée, comme représenté par la flèche 22,
- le masque utilisateur associé à chaque masque 16 de segmentation passée obtenu par le module 20 d'interaction utilisateur, comme représenté par la flèche 24.

[0068] Le masque 16 de segmentation et le masque utilisateur sont associés via un module 26 d'état pour former un état 28 formé de la réunion du masque de segmentation et du masque utilisateur pour former de nouvelles données d'entrée. Lors de la première itération, l'état 28 est alimenté par une structure 30 vide équivalente, un masque obtenu par une pré-segmentation obtenue automatiquement ou un masque dérivé de la vérité terrain lorsque le système est entraîné. L'état 28 réunit ainsi l'ensemble des masques de segmentations et masques d'utilisateurs passés, formant ainsi une mémoire séquentielle interne pour le système de segmentation.

[0069] La [Fig.2] représente schématiquement un procédé 40 de segmentation d'image semi-automatique selon un mode de réalisation de l'invention.

[0070] Le procédé de segmentation comprend une étape 42 de réception des images à segmenter pour les fournir au réseau neuronal tel que décrit dans le système de segmentation.

[0071] Le procédé comprend à chaque itération une étape 44 de traitement de données d'entrées comprenant chaque image à segmenter par le réseau neuronal pour fournir des données de sortie comprenant au moins un masque de segmentation de chaque image.

[0072] Si la qualité de la segmentation est considérée comme correcte à une étape 46 de

contrôle de qualité, le procédé de segmentation est terminé et une étape 52 finale fourni le masque de segmentation associé à la dernière segmentation.

- [0073] Si la qualité de la segmentation n'est pas correcte, chaque itération suivante comprend en outre une étape 48 de réception d'un masque utilisateur représentatif d'une interaction d'un utilisateur réel sur chaque masque de segmentation, et une étape 50 de transmission, en tant que données d'entrée du réseau neuronal à l'itération suivante, de chaque masque de segmentation fourni par ledit réseau neuronal, et du masque utilisateur.
- [0074] La [Fig.3] représente schématiquement des étapes d'un procédé d'entraînement d'un système de segmentation d'image semi-automatique selon un mode de réalisation de l'invention,
- [0075] Le procédé 100 d'entraînement comprend pour chaque image d'un jeu de données, un nombre prédéterminé d'itérations, chaque itération étant notée de I_1 à I_n .
- [0076] Chaque itération comprend une étape 112 de traitement de données 114 d'entrées par le réseau neuronal pour fournir des données 116 de sortie. Dans la première itération I_1 , les données d'entrées comprennent au moins une image à segmenter et un masque 110 d'initialisation prédéfini. Le masque 110 d'initialisation prédéfini est ici par exemple un masque vide, un masque trivial, un masque obtenu par une pré-segmentation automatique ou un masque dérivé de la vérité terrain.
- [0077] Dans les itérations suivantes, de I_2 à I_n , les données d'entrées comprennent chaque image à segmenter, chaque masque de segmentation passée obtenu à l'itération précédente, et un masque utilisateur représentatif d'une interaction d'un utilisateur réel et/ou d'un utilisateur simulé, comme symbolisé par les flèches en pointillés qui lient les données 116 de sortie d'une itération aux données d'entrée 114 de l'itération suivante.
- [0078] Le masque utilisateur est par exemple obtenu par comparaison du masque de segmentation avec la vérité terrain, c'est-à-dire des images préalablement labélisées, permettant un apprentissage supervisé. Le masque utilisateur simule ainsi l'interaction d'un utilisateur qui connaît le résultat souhaité de la segmentation.
- [0079] Le procédé comprend également, après chaque itération ou lorsque le nombre prédéterminé d'itérations ont été effectuées par le réseau neuronal, une étape 120 de mise à jour des poids du réseau neuronal à partir des données de sortie. En l'occurrence, dans le mode de réalisation représenté sur la [Fig.3], l'étape 120 de mise à jour des poids du réseau neuronal est réalisée à la dernière itération, sur la base des dernières données 116 de sortie.

Revendications

- [Revendication 1] Système de segmentation d'image semi-automatique comprenant un réseau (12) neuronal configuré pour, à chaque itération, recevoir des données d'entrée comprenant au moins une image (14) à segmenter et pour fournir des données de sortie comprenant au moins un masque (16) de segmentation de chaque image, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une boucle (18) d'interaction d'utilisateur comprenant un module (20) d'interaction utilisateur configuré pour fournir au moins un masque utilisateur représentatif d'une interaction d'un utilisateur réel et/ou d'un utilisateur simulé sur chaque masque de segmentation, ladite boucle (18) d'interaction d'utilisateur étant configuré pour fournir, en tant que données d'entrée du réseau neuronal :
- chaque masque de segmentation fourni par ledit réseau (12) neuronal provenant d'une itération précédente du réseau (12) neuronal, dit masque de segmentation passée, et
 - le masque utilisateur associé à chaque masque de segmentation passée.
- [Revendication 2] Système de segmentation selon la revendication 1, caractérisé en ce que chaque masque utilisateur représentatif d'un utilisateur simulé comprend une simulation d'au moins une interaction opérée par l'opérateur simulé sur le masque (16) de segmentation associé au masque utilisateur, la position de ladite interaction sur l'image étant déterminée en fonction de la différence entre ledit masque (16) de segmentation en sortie avec une vérité terrain.
- [Revendication 3] Système de segmentation selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comprend un module de coupe de graphe configuré pour appliquer une coupe de graphe aux données de sortie du réseau (12) neuronal pour obtenir chaque masque (16) de segmentation.
- [Revendication 4] Procédé d'entraînement d'un système de segmentation d'image selon l'une des revendications 1 à 3 via au moins un jeu de données comprenant des images à segmenter, caractérisé en ce qu'il comprend, pour chaque image du jeu de données :
- au moins deux itérations (I_1, I_2, I_n) dans lesquelles le réseau (12) neuronal traite les données d'entrées pour fournir des

données de sortie, une première itération (I_1) dans laquelle les données d'entrées comprennent au moins une image à segmenter et un masque (110) d'initialisation prédéfini, et des itérations suivantes dans laquelle les données d'entrées comprennent chaque image à segmenter, chaque masque de segmentation passée obtenu à l'itération précédente, et un masque utilisateur représentatif d'une interaction d'un utilisateur réel et/ou d'un utilisateur simulé,

- une étape (120) de mise à jour des poids du réseau neuronal à partir des données de sortie après chaque itération ou lorsqu'un nombre prédéterminé d'itérations ont été effectuées par le réseau neuronal.

[Revendication 5] Procédé d'entraînement selon la revendication 4, caractérisé en ce que le nombre prédéterminé d'itérations est variable pour chaque image à segmenter et pour chaque jeu de donnée.

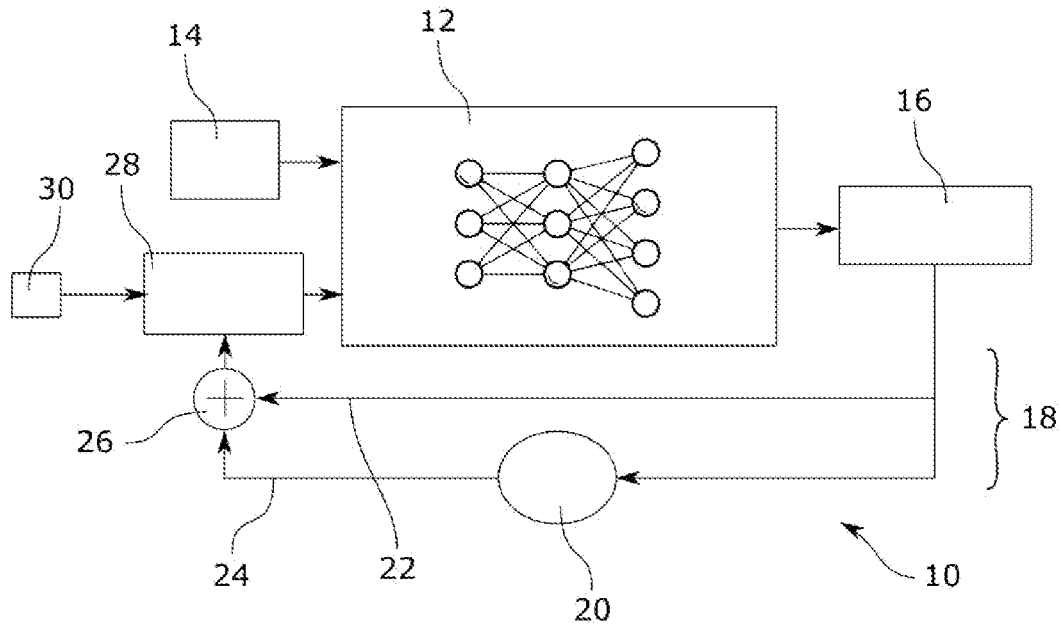
[Revendication 6] Procédé de segmentation d'image semi-automatique comprenant à chaque itération une étape de traitement de données d'entrées comprenant chaque image à segmenter par un réseau neuronal pour fournir des données de sortie comprenant au moins un masque de segmentation de chaque image, caractérisé en ce que chaque itération comprend en outre :

- une étape de réception d'un masque utilisateur représentatif d'une interaction d'un utilisateur réel sur chaque masque de segmentation,
- une étape de transmission, en tant que données d'entrée du réseau neuronal à l'itération suivante, de chaque masque de segmentation fourni par ledit réseau neuronal, et du masque utilisateur.

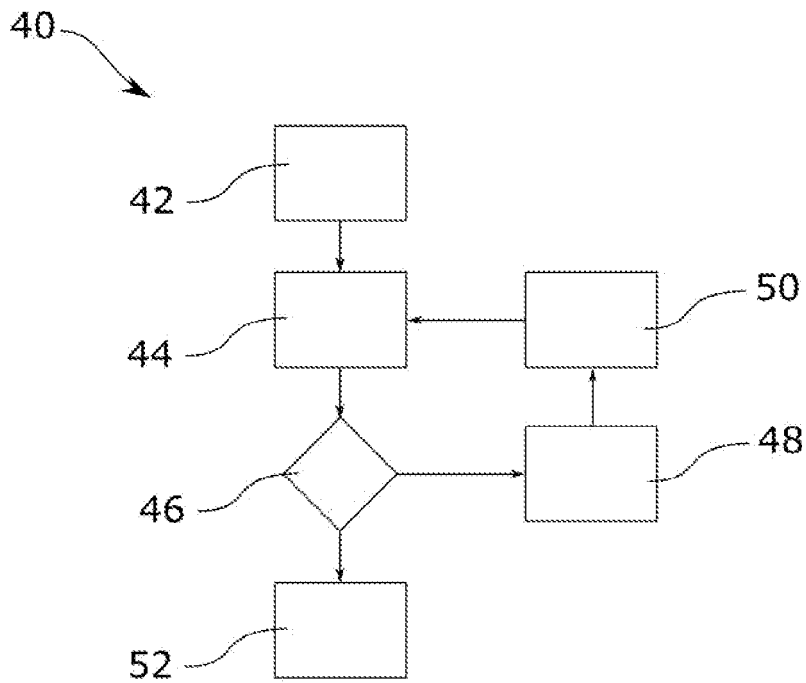
[Revendication 7] Produit programme d'ordinateur d'entraînement d'un système de segmentation d'image selon l'une des revendications 1 à 3, ledit produit programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution, lorsque ledit produit programme d'ordinateur est exécuté sur un ordinateur, des étapes du procédé d'entraînement selon l'une des revendications 4 ou 5.

[Revendication 8] Produit programme d'ordinateur de segmentation d'image semi-automatique ledit produit programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution, lorsque ledit produit programme d'ordinateur est exécuté sur un ordinateur, des étapes du procédé de segmentation d'image selon la revendication 6.

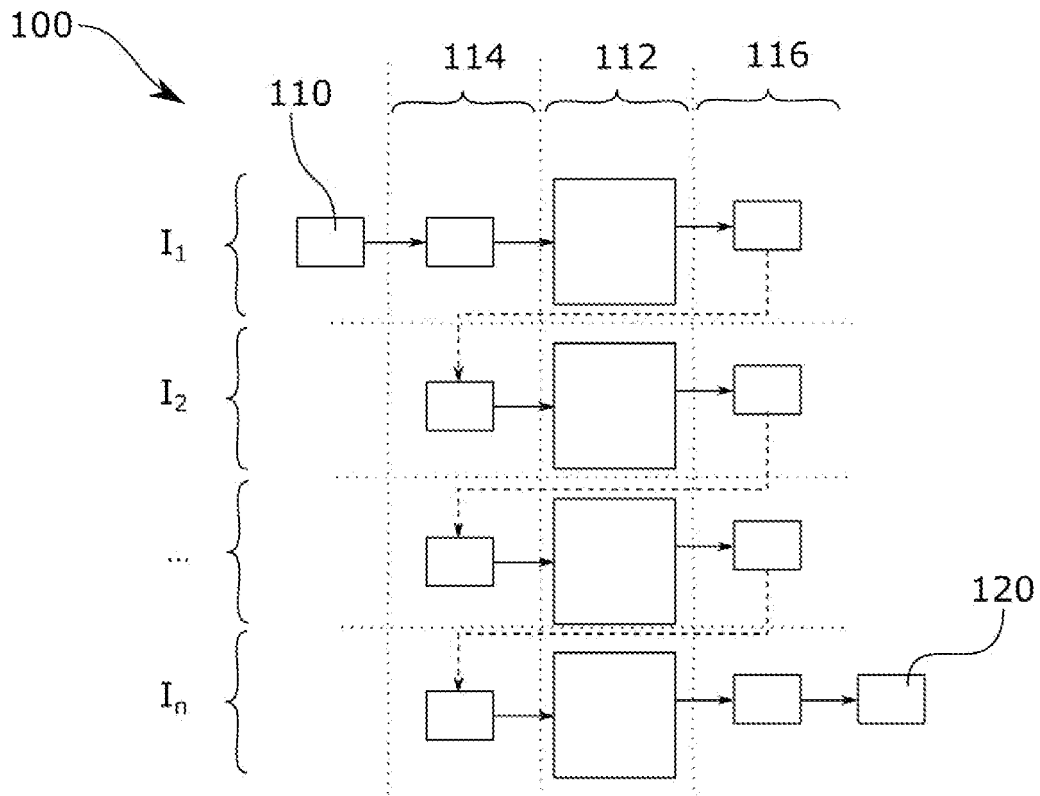
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

NEANT

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

MARCO FORTE ET AL: "Getting to 99% Accuracy in Interactive Segmentation",
ARXIV.ORG,
17 mars 2020 (2020-03-17), XP081623755,

SABARINATH MAHADEVAN ET AL: "Iteratively Trained Interactive Segmentation",
ARXIV.ORG,
11 mai 2018 (2018-05-11), XP080877235,

XUAN LIAO ET AL: "Iteratively-Refined Interactive 3D Medical Image Segmentation with Multi-Agent Reinforcement Learning",
ARXIV.ORG,
23 novembre 2019 (2019-11-23),
XP081538481,

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT