

Real-Time Estimator of Dynamic Texture Features

Advisor-s: Jonathan Vacher, MAP5 (UMR 8145), UPCité,

jonathan.vacher@u-paris.fr

Olivier Bouaziz, Laboratoire Painlevé (UMR 8524), Université de Lille,

olivier.bou-aziz@univ-lille.fr

Location MAP5, UPCité, 45 Rue de Saints-Pères, 75006 Paris.

Domain The internship is one piece of a bigger project aiming at the development of a Brain Computer Interface (BCI). A BCI is generally a closed-loop circuit composed of a human wearing a brain activity recording device connected to a computer. This computer is equipped with software that is able to convert brain activity to instructions in order to control another software or a hardware (video games, regular desktop activity, artificial arm/leg, etc., ...). The resulting action on the software or hardware is perceived by the human observer who in turn should be able to modify their own brain activity to try to achieve a desired control over the software or hardware.

Advisor-s Jonathan Vacher is associate professor at Université Paris Cité in the MAP5 laboratory. He did his thesis at the interface between neuroscience and applied mathematics under the supervision of Gabriel Peyré and Cyril Monier. He then completed a post-doctorate in New York under the supervision of Ruben Coen-Cagli and then in Paris under the supervision of Pascal Mamassian. Olivier Bouaziz is a professor in statistics at the laboratory Paul Painlevé at the Mathematics Department of the Science Faculty at Université de Lille. He is a member of the Probability and Statistics team.

Objective The aim of this internship is to study different estimators of texture features in order to develop an optimal control method for the real-time synthesis of dynamic textures. Finely controllable texture generation is a prerequisite to further develop a BCI based on visual perception.

Candidate profile The ideal candidate is interested in statistics, probabilities, computer vision and numerical simulation. The work will involve the design of estimators, their theoretical study and the numerical testing of those estimators on dynamic texture movies. The candidate is familiar with python or matlab.

Details The dynamic texture I is viewed as the solution of a stochastic Partial Differential Equation (sPDE) [1] defined on $\mathbb{R}_+ \times \Omega$ with Ω being the torus *i.e.* $\Omega = \mathbb{R}^2 / \mathbb{Z}^2$. The sPDE can be written as

$$\mathcal{D}_{u_t}(I) = \sigma(u_t) \star \frac{\partial^3 W}{\partial x \partial y \partial t} \quad (1)$$

where \mathcal{D}_u is a linear differential operator and $\sigma(u)$ is a spatial kernel both parameterized by $u \in \mathbb{R}^D$ ($D \in \mathbb{N}^*$) and where \star is the spatial convolution over Ω with $\frac{\partial^3 W}{\partial x \partial y \partial t}$ being a spatio-temporal white noise. When for all $t \in \mathbb{R}_+$, $u_t = u_0 \in \mathbb{R}$, Equation (2) admits stationary solutions in space and time [1]. When the function u is not constant, solutions are not stationary in time. In the proposed form, the function u is a controllable function which allows to generated different dynamical changes in the frequency content of the texture. The frequency content of the dynamic texture at time $t \in \mathbb{R}_+$ can be characterized by a vector of statistics $s_t \in \mathbb{R}^K$ that can be estimated from a sequence of frames $(I_{t_1}, \dots, I_{t_N})$. Denoting by S an estimator of s we can write,

$$\bar{s}_t = S \left(I_t, I_{t-\frac{\Delta t}{N}} \dots, I_{t-\Delta t} \right).$$

The optimal control problem is the problem of finding a function u such that the value of the statistic at time t has the desired objective value at time t , $\bar{s}_t = s_t$. In contrast, to classical control theory in which one controls directly the value of the solution I_t at time t , here we want to control the estimation of some statistics s_t of the solution I_t . A necessary step before solving the optimal control problem is therefore to study and compare different possible estimators. We will first restrict the study to differential operators that do not depend on u . The goat of this internship is to propose different estimators S and to study their property.

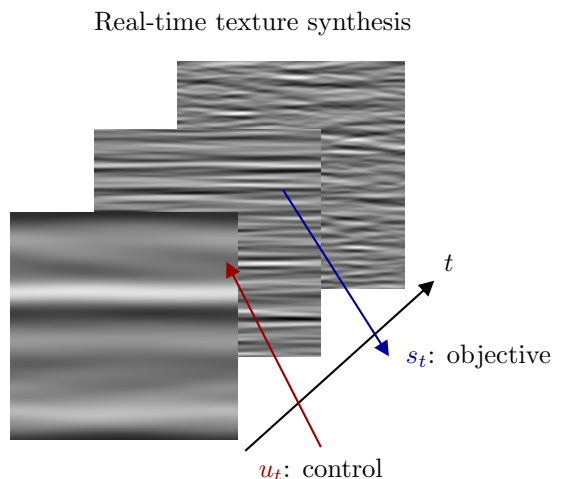


Figure 1: Illustration of the control of the statistic s_t using the control variable u_t .

Estimation en Temps Réel des Caractéristiques d'une Texture Dynamique

Encadrant.e.s: Jonathan Vacher, MAP5 (UMR 8145), UPCité,
jonathan.vacher@u-paris.fr

Olivier Bouaziz, Laboratoire Painlevé (UMR 8524), Université de Lille,
olivier.bou-aziz@univ-lille.fr

Localisation MAP5, UPCité, 45 Rue de Saints-Pères, 75006 Paris.

Domaine Le stage fait partie d'un projet plus vaste visant au développement d'une interface cerveau-machine (ICM). Une ICM est généralement un circuit en boucle fermée composé d'un humain portant un dispositif d'enregistrement de l'activité cérébrale connecté à un ordinateur. Cet ordinateur est équipé d'un logiciel capable de convertir l'activité cérébrale en instructions afin de contrôler un autre logiciel ou un matériel (jeux vidéo, activité de bureau régulière, bras/jambe artificiels, etc.). L'action résultante sur le logiciel ou le matériel est perçue par l'observateur humain qui, à son tour, devrait être capable de modifier sa propre activité cérébrale pour essayer d'obtenir le contrôle souhaité sur le logiciel ou le matériel.

Encadrant.s Jonathan Vacher est maître de conférences à l'Université Paris Cité au sein du laboratoire MAP5. Il a réalisé sa thèse à l'interface entre neurosciences et mathématiques appliquées sous la direction de Gabriel Peyré et Cyril Monier. Il a ensuite effectué un post-doctorat à New York sous la direction de Ruben Coen-Cagli puis à Paris sous la direction de Pascal Mamassian. Olivier Bouaziz est professeur en statistique au laboratoire Paul Painlevé au département de mathématiques de la faculté des sciences de l'université de Lille. Il est membre de l'équipe Probabilités et statistiques.

Objectif L'objectif de ce stage est d'étudier différents estimateurs de caractéristiques de texture afin de développer une méthode de contrôle optimale pour la synthèse en temps réel de textures dynamiques. La génération de textures finement contrôlables est une condition préalable au développement ultérieur d'une ICM basée sur la perception visuelle.

Profil du candidat ou de la candidate Le candidat ou la candidate idéal.e s'intéresse aux statistiques, aux probabilités, à la vision par ordinateur et à la simulation numérique. Le travail comprendra la conception d'estimateurs, leur étude théorique et le test numérique de ces estimateurs sur des films de textures dynamiques. Le candidat est familier avec `python` ou `matlab`.

Détails La texture dynamique I est considérée comme la solution d'une équation aux dérivées partielles stochastique (EDPs) [1] définie sur $\mathbb{R}_+ \times \Omega$ avec Ω étant le tore *i.e.* $\Omega = \mathbb{R}^2/\mathbb{Z}^2$. L'EDPs peut s'écrire sous la forme

$$\mathcal{D}_{u_t}(I) = \sigma(u_t) \star \frac{\partial^3 W}{\partial x \partial y \partial t} \quad (2)$$

où \mathcal{D}_u est un opérateur différentiel linéaire et $\sigma(u)$ est un noyau spatial tous deux paramétrés par $u \in \mathbb{R}^D$ ($D \in \mathbb{N}^*$) et où \star est la convolution spatiale sur Ω et où $\frac{\partial^3 W}{\partial x \partial y \partial t}$ est un bruit blanc spatio-temporel. Lorsque pour tout $t \in \mathbb{R}_+$, $u_t = u_0 \in \mathbb{R}$, l'équation (2) admet des solutions stationnaires dans l'espace et le temps [1]. Lorsque la fonction u n'est pas constante, les solutions ne sont pas stationnaires dans le temps. Dans la forme proposée, la fonction u est une fonction contrôlable qui permet de générer différents changements dynamiques dans le contenu fréquentiel de la texture. Le contenu fréquentiel de la texture dynamique à l'instant $t \in \mathbb{R}_+$ peut être caractérisé par un vecteur de statistiques $u_t \in \mathbb{R}^K$ qui peut être estimé à partir d'une séquence de trames $(I_{t_1}, \dots, I_{t_N})$. En désignant par S un estimateur de s on peut écrire,

$$\bar{s}_t = S \left(I_t, I_{t-\frac{\Delta t}{N}} \dots, I_{t-\Delta t} \right).$$

Le problème de contrôle optimal est le problème de trouver une fonction u telle que la valeur de la statistique à l'instant t ait la valeur objective désirée à l'instant t , $\bar{s}_t = s_t$. A l'opposé de la théorie du contrôle classique dans laquelle on contrôle directement la valeur de la solution I_t à l'instant t , on souhaite ici contrôler l'estimation de certaines statistiques s_t de la solution I_t . Une étape nécessaire avant de résoudre le problème de contrôle optimal est donc d'étudier et de comparer différents estimateurs possibles. Nous allons d'abord restreindre l'étude aux opérateurs différentiels qui ne dépendent pas de u . Le but de ce stage est de proposer différents estimateurs S et d'étudier leur propriété.

References

- [1] Jonathan Vacher et al. "Bayesian modeling of motion perception using dynamical stochastic textures". In: *Neural computation* 30.12 (2018), pp. 3355–3392. DOI: 10.1162/neco_a_01142.