



Doctoral Thesis

Informationsverknüpfung im Bauwesen eine Anwendung der Bayes'schen Methode auf die Ingenieurproblematik

Author(s):

Scheiwiller, Alex Peter

Publication Date:

1999

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-002063319> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 13039

Informationsverknüpfung im Bauwesen

Eine Anwendung der Bayes'schen Methode auf die Ingenieurproblematik

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Alex Peter Scheiwiller
Dipl. Bau-Ing. ETH Zürich

geboren am 10.8.1966
von Waldkirch SG

Angenommen auf Antrag von:
Prof. Dr. h.c. Jörg Schneider, Referent
Prof. Dr. Hans Rudolf Künsch, Korreferent

1999

Zusammenfassung

Bauingenieure sind bei ihrer Arbeit und insbesondere bei der Entscheidungsfindung auf verschiedenste Informationen angewiesen. Dies können Informationen über das Verhalten von Bauwerksteilen, über Baustoffeigenschaften oder über Einwirkungen sein. Die Informationen liegen im Normalfall in verschiedenen Formen vor. Dies sind beispielsweise Stichproben, weiterverarbeitete Resultate aus anderen Untersuchungen, welche sich in Normen oder in der Fachliteratur finden lassen, oder Expertenschätzungen. Neben der unterschiedlichen Form weisen die Informationen auch Unterschiede in ihrer Unschärfe und ihrer Güte auf. Bauingenieure stehen somit häufig vor der Aufgabe, die verschiedenen Informationen im Hinblick auf die jeweilige Fragestellung geeignet auszuwerten und miteinander zu kombinieren.

In dieser Arbeit wird ein neues Verfahren vorgestellt, das die Verknüpfung von Informationen wesentlich vereinfacht. Die betrachtete Eigenschaft wird dabei als Variable beschrieben, welche durch eine Verteilungsfunktion und die zugehörigen Parameter definiert ist. Es gilt nun, diese Grössen aus den einzelnen Informationen festzulegen. Die Unschärfe der einzelnen Informationen können so direkt in die Beschreibung der Eigenschaft eingebracht werden. Das Resultat der Informationsauswertung ist der Verteilungstyp und pro vorliegender Information ein Parameterset. Die daraus resultierenden unterschiedlichen Verteilungsfunktionen werden nun miteinander verknüpft. Das Resultat dieser Verknüpfung ist die sogenannte Metainformation.

Für die eigentliche Verknüpfung werden drei Methoden vorgeschlagen, die Bayes'sche Regressionsmethode, die empirische lineare Bayes'sche Regressionsmethode und die Pseudostichproben-Methode. Die beiden erstgenannten Methoden basieren auf der Bayes'schen Methode. Als Hauptunterschied zum klassischen Gebrauch wird die Bayes'sche Methode nicht auf die Parameter der untersuchten Zufallsvariablen angewendet, sondern auf die Koeffizienten der zugehörigen Geraden im Wahrscheinlichkeitspapier. Die Verknüpfung stützt sich auf das Modell des Parameterschätzverfahrens "Methode der kleinsten Quadrate". Durch diese Transformation vereinfacht sich die Verknüpfung wesentlich. Es können alle Verteilungstypen, für welche ein Wahrscheinlichkeitspapier existiert, gleich behandelt werden.

Ausserdem kann die Verknüpfung der Informationen auch unter Benutzung von konjugierten Verteilungen durchgeführt werden. Für diesen Fall existieren geschlossene Lösungen zur Bestimmung der Posteriorverteilung. Dadurch entfällt das numerische Lösen von mehrdimensionalen Integralen. Weiter ist eine explizite Gewichtung der einzelnen Informationen bezüglich ihrer Güte möglich, die gemäss dem der Information entgegengebrachten Vertrauen festgelegt wird.

Beschränkt man sich auf die Betrachtung der Erwartungswerte der Parameter, so entfällt auch die oft schwierige Bestimmung einer Verteilungsfunktion für die Parameter. Für die Verknüpfung sind dann nur die Parameter der Variablen aus den einzelnen Informationen zu bestimmen und die Gewichtung festzulegen.

Zur Unterstützung der Anwendung des in dieser Arbeit vorgestellten Verfahrens zur Verknüpfung von Informationen wurde ein Computerprogramm erstellt. Dieses soll auch einem theoretisch weniger geschulten Ingenieur die Benutzung des Verfahrens ermöglichen.

Summary

Civil engineers usually base their decisions on information from different sources and of varying quality. This may be, e.g., data on the characteristics of structural components, data on properties of materials or on actions. The information may be gathered by measurements or may be found in codes or in specialist literature. Information also includes results from expert judgements. One of the engineer's tasks is to analyse, process and combine the different types of information.

A new procedure was developed to facilitate information processing and, above all, the combining process. The property under consideration is described by a stochastic variable, i.e. by a distribution function and its corresponding parameters. These quantities have to be assessed with the different information. Thus the uncertainty of the information can be easily included in the procedure. The result of the assessment is the distribution type and a set of parameters for each information. The resulting different distribution functions are now combined. The result of the combining process is the so-called metainformation.

Three methods are proposed for the combining process, the Bayesian regression method, the empirical linear Bayesian regression method and the pseudo sample method. The first two methods are based on the Bayesian method. In contrast to classical applications, the Bayesian method is not applied to the parameters of the stochastic variable but to the coefficients of the corresponding straight line in the respective probability paper. The estimation model "Least-Squares Method" now forms the basis of the inferential process. This transformation facilitates the combining process substantially. All distribution types can be treated in the same way, provided a probability paper is defined.

In addition, a conjugate analysis can be used for the inferential process. In this case, the posterior distribution follows a known distribution function. As a consequence, there is no need for numerically solving multivariate integrals. Further, the weighting of the dif-

ferent information according to the assigned degrees of confidence is now explicitly possible.

The often difficult determination of a distribution function for the parameters can be dispensed with if only the expected values of the parameters are considered. Therefore, for the combining process, only the parameters of the stochastic variables need to be determined from the different information and an appropriate weighting has to be assessed.

To further the application of the proposed procedure a computer program was developed. Using this program also engineers of narrower theoretical background should be able to apply the proposed method.

Résumé

Les ingénieurs civils basent leurs décisions sur des informations de sources différentes et de qualité variée. Ce sont, par exemple, des données sur les éléments de construction, sur les propriétés des matériaux ou sur les actions. Ces informations peuvent être obtenues par des mesures ou bien être extraites des normes ou de la littérature spécialisée. Elles incluent aussi des jugements d'expert. Une des tâches des ingénieurs est d'analyser, de traiter et de relier ces différentes informations.

Une nouvelle procédure simplifiant le traitement des informations et principalement leur liaison a été développée. La propriété considérée est décrite par une variable aléatoire, c'est-à-dire, par une densité de probabilité et ses paramètres. Cette variable aléatoire doit être déterminée par les différentes informations. Le résultat fournit la loi de probabilité et les paramètres correspondant à chaque information. Les incertitudes sont donc facilement incluses dans la procédure. Il reste ensuite à relier les fonctions de répartition résultantes. Il en résulte une information que l'on nomme métainformation.

Trois méthodes sont proposées pour relier les informations. Ce sont la méthode de régression Bayésienne, la méthode de régression empirique linéaire Bayésienne et la méthode de pseudo-échantillonnage. Les deux premières méthodes se basent sur la méthode Bayésienne, qui au contraire de l'application classique, ne s'applique pas aux paramètres de la variable aléatoire, mais aux coefficients de la droite correspondante dans le papier de probabilité. La liaison se base maintenant sur la méthode d'estimation des paramètres "méthode des moindres carrés". Cette transformation simplifie fortement la liaison des informations. Toutes les lois de probabilité peuvent être traitées de la même manière pour autant qu'un papier de probabilité existe.

En plus, il est possible d'utiliser une analyse conjuguée pour l'application de la méthode Bayésienne. Dans ce cas, la fonction de répartition a posteriori suit une loi de probabilité

connue. Par conséquent, il n'est plus nécessaire de résoudre les intégrales à variables multiples par des méthodes numériques. En outre, on peut attribuer explicitement un poids à chaque information en fonction du degré de confiance assignée.

Si l'on tient compte uniquement des espérances mathématiques des paramètres, on peut se dispenser de la laborieuse détermination des fonctions de répartition des paramètres. Il suffit donc de déterminer les paramètres des variables aléatoires et le poids de chaque information.

Un programme d'ordinateur a été développé pour favoriser l'application de la procédure proposée. Ce programme permet aussi aux ingénieurs ayant des connaissances théoriques moins étendues d'appliquer cette procédure.