Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 91 (2000)

Heft: 19

Artikel: Shrimp, un robot tout-terrain

Autor: Piguet, Ralph / Estier, Thomas / Siegwart, Roland

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-855594

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Shrimp, un robot tout-terrain

Applications terrestres et extraterrestres envisagées

Les robots mobiles autonomes sont devenus un élément clef de l'exploration planétaire de notre système solaire. Pour évoluer dans ce type de terrains très accidentés, de nouveaux concepts de locomotion doivent être développés. L'Institut de Systèmes Robotiques de l'EPFL a réalisé un robot équipé de six roues motorisées, capable de franchir des obstacles dont la taille équivaut à deux fois celle de ses propres roues.

Les robots d'exploration planétaire doivent faire preuve de capacités tout-terrain hors norme car l'environnement dans lequel ils évoluent durant leur mission est particulièrement hostile: sable ou pierraille, rocs, dunes, cratères, etc. Avec le nouveau millénaire, la nature des missions spatiales passera progressivement d'une pure exploration à une réelle exploitation des ressources. Cela implique des missions de plus longue haleine, la construction d'infrastructures et éventuellement la cohabitation entre humains et robots. La nature même de l'environnement va ainsi évoluer: de nouveaux types d'obstacles structurés (marches, pipelines, tranchées, etc.) vont apparaître et devront être traités par les robots.

La majorité des concepts de locomotion terrestre existants est basée sur l'utilisation de roues, de chenilles ou de pieds:

- Les robots marcheurs (par exemple Dante [1]) sont bien adaptés aux environnements déstructurés car ils sont capables de maintenir leur stabilité dans un grand nombre de situations, mais ils sont habituellement mécaniquement complexe et requièrent beaucoup de ressources pour assurer leur contrôle. Sur une surface plane, ils sont relativement lents et gourmands en énergie, en comparaison des autres solutions.
- Les véhicules à chenilles font preuve d'excellentes capacités en tout-terrain, tirant avantage de leur stabilité et de leur bonne traction en mouvement. Leur force réside principalement dans la simplicité de leur contrôle cependant, la friction entre les chenilles et le sol est très élevée lorsque le robot effectue un virage. L'Agence Spatiale Européenne (ESA) a planifié une mission martienne pour le Nanokhod [2], un petit robot basé sur cette solution et susceptible de se retourner après un tonneau en effectuant une rotation de son corps central par rapport à ses chenilles.
- L'utilisation de la roue représente la solution optimale pour des robots évoluant dans un environnement très structuré comme les routes ou les bâtiments. En tout-terrain, leur efficacité dépend fortement de la taille caractéristique des obstacles qui peuvent être rencontrés et qui doivent être franchis en déplacement normal. C'est le cas du Sojourner [3], de son fils Rocky 7 [4] ou de Micro-5 [5], qui peuvent typiquement surmonter des obstacles de la taille de leur roue, lorsque la traction de celles-ci est suffisante. Donner à un robot roulant la capacité de grimper sur des obstacles importants nécessite l'utilisation d'une stratégie particulière dédiée au franchissement et impliquant soit des actionneurs supplémentaires à l'instar du Marsokhod [6] et de l'Hybtor [7], soit une procédure complexe de contrôle comme dans le cas du Space-Cat [8] ou du Nanorover [9].

La classification en usage dans notre laboratoire pour étudier les concepts de locomotion distingue la locomotion active et passive. La locomotion passive est basée sur l'utilisation de suspensions passives, c'est-à-dire sans capteurs ou actionneurs additionnels destinés à assurer la stabilité du mouvement. A l'opposé, un robot dit actif implique l'usage d'une boucle de contrôle fermée pour assurer sa stabilité. Selon cette définition, Sojourner, Rocky 7 et Micro-5 sont des robots passifs alors que les Dante, Nanorover et Space-Cat sont des robots actifs; Marsokhod, Nanokhod et Hybtor quant à eux, seraient des hybrides en fonction de leur mode de locomotion.

S'il est évident que la locomotion active permet d'accroître la mobilité d'un robot, elle complexifie sa structure et son contrôle. Avec la vitesse actuelle des processeurs, il est enfin envisageable d'aborder la locomotion active, et cela constitue d'ailleurs un de nos domaines de recherche. Quoi qu'il en soit, dans le cas de la robotique spatiale autonome, les caractéristiques les plus recherchées sont la faible consommation énergétique, la fiabilité et la mobilité du système. La grande complexité des robots actifs et la pauvre mobilité des systèmes passifs nous ont poussés à investiguer et développer de nouveaux concepts de locomotion pour des robots roulants et passifs.

Ces considérations ont constitué la base d'un projet confié à deux étudiants en microtechnique (Yann Crausaz et Baptiste Merminod) dont l'objectif fut la conception et la réalisation d'un robot mobile répondant aux exigences suivantes: a) le véhicule équipé de roues doit faire preuve d'excellentes capacités tout-terrain: une grande traction et stabilité en mouvement même en terrain accidenté; b) un franchissement passif d'une marche d'une hauteur d'une fois et demi le diamètre de ses roues.

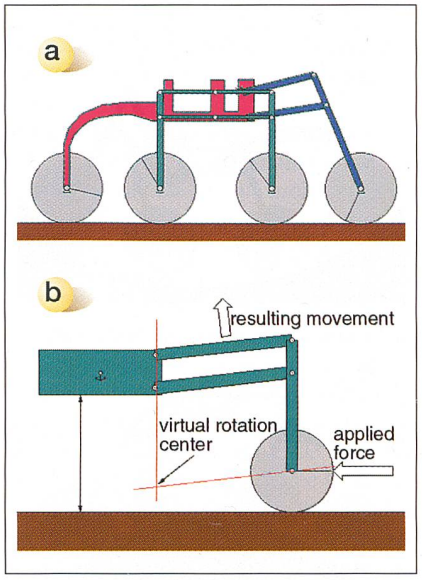


Fig. 1 a: Vue latérale du robot, b: Schéma de principe de la fourche avant

Adresse des auteurs
Ralph Piguet, Thomas Estier, Prof. Dr *Roland Siegwart,* Institut de Systèmes Robotiques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), 1015 Lausanne
E-Mail thomas.estier@epfl.ch

Le résultat de ce projet est un premier prototype qui démontre des performances surpassant nos attentes. La présentation de ce prototype et des résultats de quelques tests forment le sujet de cet article.

Design mécanique du robot

Présentation

Shrimp possède 6 roues dont la configuration forme un losange: une roue montée sur la fourche frontale, une roue à l'arrière et deux bogies latéraux (fig. 1). Bien que nos bogies aient une géométrie spéciale, ils sont basés sur le principe des bogies de train: un couple de deux roues est monté sur un support qui peut pivoter librement autour d'un pivot central.

La fourche frontale à deux rôles: sa suspension à ressort garantit un contact optimal avec le sol à tout instant, et son mécanisme parallèle produit une élévation de la fourche lorsqu'un obstacle est rencontré.

L'architecture parallèle des bogies et de la fourche produit une configuration non-hyperstatique pour les 6 roues motorisées tout en maintenant une grande garde au sol. Cela assure une stabilité et une adaptabilité maximum ainsi qu'une excellente capacité de franchissement. Le véhicule est conçu pour garder toutes ses six roues en contact avec le sol jusque dans des cas extrêmes de 30 cm de rayon pour une surface convexe et 35 cm de rayon pour une surface concave (valeurs minimums, fig. 2).

La direction du robot (détaillée plus loin dans cet article) lui permet d'effectuer une rotation pure même dans des situations extrêmes. Les roues sont équipées de moteurs DC de 1,75 W asservis en vitesse. Actuellement, nous utilisons une télécommande IR pour assigner la vitesse du robot. Le poids total du robot est de 3,1 kg, y compris 600 g de batteries (12 V/2000 mhA).

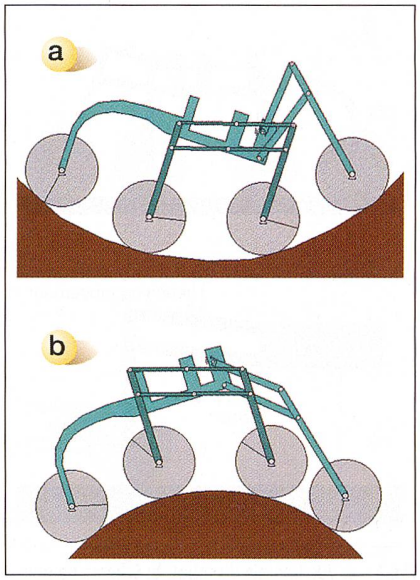


Fig. 2 Robot sur terrain concave (a) et convexe (b)

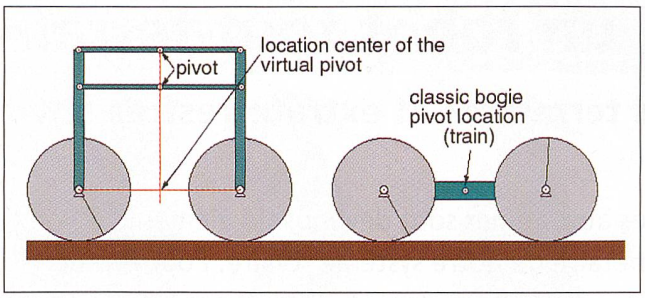


Fig. 3 L'architecture parallèle du bogie permet une grande garde au sol.

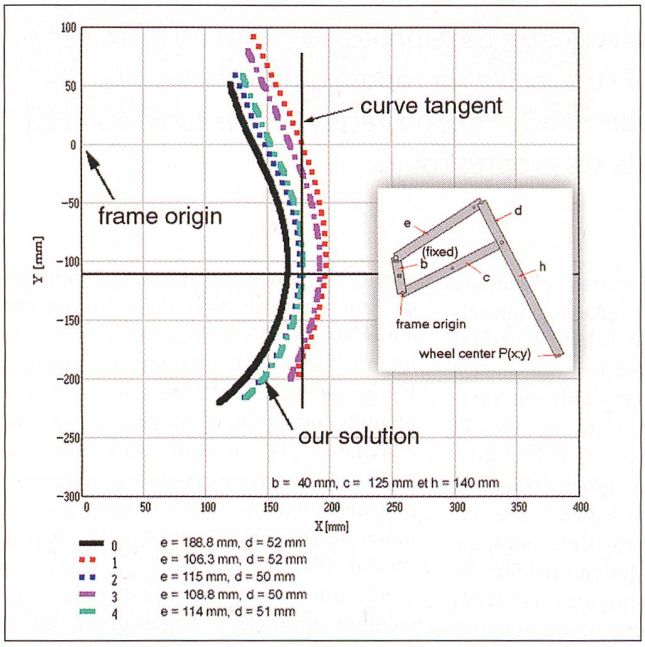


Fig. 4 Trajectoires *P(A)* de la roue avant pour plusieurs valeurs des segments e et d (voir vue détaillée)

Les bogies

Les bogies sont les premiers éléments clefs du Shrimp. Ils procurent la stabilité latérale lors du mouvement même en terrain accidenté. Pour pouvoir assurer une bonne adaptabilité des bogies, il est nécessaire de fixer leur pivot aussi bas que possible tout en gardant une grande garde au sol. Ce problème est résolu en utilisant la configuration parallèle montrée sur la figure 3, qui permet de placer un pivot virtuel à la hauteur de l'axe des roues sans encombrer cet espace.

La fourche frontale

Comme on peut le voir sur la figure 1b, une trajectoire de la roue frontale avec un centre instantané de rotation (CIR) situé plus bas que l'axe de la roue est utile pour surmonter un obstacle. En effet, un couple est alors créé sur la fourche, lui permettant de s'élever.

L'autre fonction de la fourche est de produire une amplitude maximale pour la roue frontale quelle que soit la configuration du robot. C'est ce qui explique la caractéristique asymétrique de la trajectoire *P(A)* montrée sur la figure 4. La ligne horizontale représente la hauteur de l'axe de la roue quand le robot est sur un plan horizontal. Au dessus, la trajectoire doit rejoindre une droite oblique la plus longue possible. C'est ce qui lui permet surmonter des obstacles tout en avançant. Notez que la caractéristique de la trajectoire sous cette ligne est nécessaire pour assurer une bonne stabilité quand le robot est sur un terrain convexe.

Direction

La direction du robot est assurée en synchronisant la direction des roues avant et arrière avec la vitesse différentielle des roues des bogies (fig. 5). Cela permet au robot des manœuvres de grande précision allant jusqu'à tourner sur lui-même avec un minimum de glissement.

Résultats expérimentaux

Franchissement d'une marche

Une des exigences premières de ce robot était le franchissement d'une marche dont la hauteur valait au minimum une fois et demi le diamètre de ses roues. La figure 6 montre les étapes prin-

cipales du franchissement d'une marche. La roue frontale passe d'abord facilement sur la marche, comprimant alors les ressorts de sa suspension (montrés sur la fig. 1). L'énergie accumulée dans les ressorts aide ensuite les premières roues des bogies à franchir la partie verticale de la marche. Quand les secondes roues des bogies viennent en contact avec le mur, les bogies effectuent une rotation autour de la marche. A cet instant, le centre de gravité à quasiment atteint sa hauteur finale ce qui permet à la roue arrière de passer l'obstacle facilement.

Comme les deux bogies sont indépendantes l'une de l'autre, il est possible de franchir la marche même sans arriver perpendiculairement ou si un seul bogie rencontre le bord d'une marche. Bien que le robot ait été conçu pour franchir une marche de 17 cm, il est capable de monter sur une marche de deux fois la taille de ses roues, soit 22 cm.

Fig. 7 Test dans un terrain accidenté

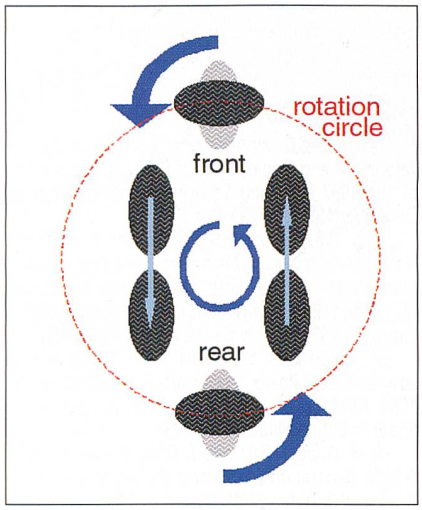


Fig. 5 La direction du robot (vue de dessus)
La direction est assurée en synchronisant la direction des roues avant et arrière avec la vitesse différentielle des roues des bogies.

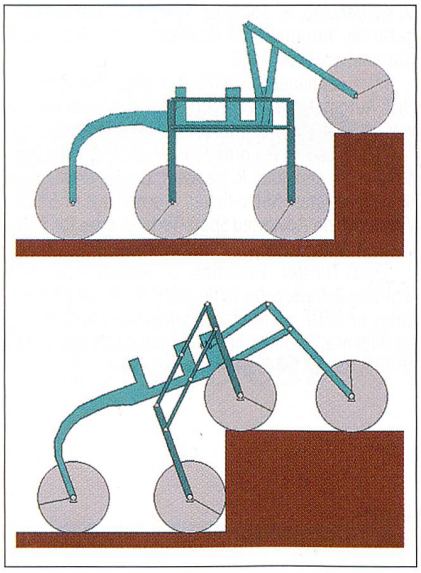


Fig. 6 Le robot montant une marche
La marche est 1,5 fois plus haute que le diamètre des roues.

Franchissement d'escaliers

Encouragé par les performances de franchissement du robot, nous avons testé ses performances dans des escaliers. Grâce à une bonne corrélation entre la taille des bogies et celle des marches, Shrimp est capable de monter un escalier facilement. Cela est particulièrement impressionnant si l'on considère les difficultés que peut avoir votre voiture pour passer un gros trottoir.

Capacité tout-terrain

Shrimp fait preuve d'une excellente stabilité en terrain accidenté et même escarpé. Il est en effet capable de se mouvoir avec une inclinaison frontale ou latérale de 40° et peut franchir des obstacles comme des rochers même avec un seul bogie (fig. 7). Le prototype a été testé dans divers terrains (sablonneux et rocailleux) et prouva que son architecture est bien adaptée à des évolutions tout-terrain en franchissant aisément des dunes ou des sillons. Nous avons calculé la valeur MFP du libre parcours moyen (Mean Free Path en anglais: la distance, en multiple de sa taille, sur laquelle le robot est capable de se mouvoir dans un environnement donné sans être bloqué par les obstacles qui le composent) pour les sites d'atterrissage des deux sondes Viking (VL1 et VL2) sur Mars. En étant prudent sur les capacités du robot, nous avons obtenus des valeurs de 35,7 (contre 9,6 pour le robot Sojourner de la Nasa) pour le site VL1. Dans un milieu tel que celui de VL2, le MFP vaudrait 5,4 (Sojourner: 2,4). Cela représente un indice encourageant permettant d'affirmer que l'architecture de Shrimp serait une bonne candidate pour des missions martiennes de longue haleine. Nous travaillons d'ailleurs avec l'entreprise Helbling Technik AG à la proposition d'un robot d'exploration planétaire basé sur l'architecture de Shrimp.

Trajectoire du centre de gravité

La capacité de franchissement est principalement assurée par l'élévation progressive du centre de gravité (CG) du robot provoquée par l'action séquentielle des roues.

La figure 8 montre la trajectoire du CG pour le franchissement d'une marche de 17 cm. Le centre de gravité atteint 10% de la hauteur finale quand la roue frontale est en haut de la marche (a). Puis les premières roues des bogies, aidées par l'action de la fourche frontale, amènent le CG à 50% (c). Les secondes roues des bogies ainsi que la roue arrière contribuent pour leur part chacune à environ 25%. On peut voir clairement que sa structure mécanique offre au Shrimp une trajectoire douce de son centre de gravité.

Influence du coefficient de friction

Pour montrer que la friction entre les roues et le sol joue un rôle moins critique avec cette architecture qu'avec les véhicules à suspension classique, nous avons réduit le coefficient de friction de quelques roues en les recouvrant d'un film plastique. Le coefficient statique de friction mesuré entre les roues et la marche en bois vaut 0,81 et descend jusqu'à 0,23 avec la couverture plastique. Le robot était toujours capable de franchir aisément la marche en bois avec les roues arrière et avant recouvertes ou avec les bogies recouvertes. Il est facile d'imaginer qu'avec toutes les roues couvertes de ce film plastique, le robot ne fut plus capable de passer la marche. Néanmoins,

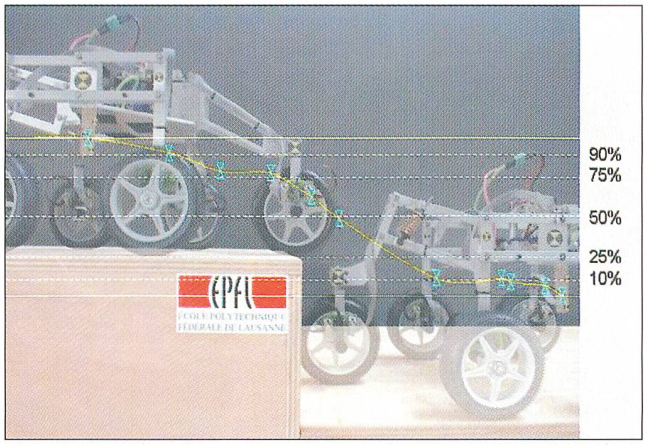


Fig. 8 Trajectoire du centre de masse

beaucoup de paramètre ne sont pas optimisé pour ce premier prototype, à l'instar du poids ou du contrôle des moteurs.

Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté Shrimp, un robot doté d'excellentes capacités de franchissement et de giration. Basé sur une architecture parallèle offrant à la fois une haute garde au sol et une très bonne stabilité, ce robot et capable de franchir passivement des marches d'une hauteur de deux fois le diamètre de ses roues, de grimper des escaliers ou de se déplacer en terrain hostile.

Shrimp est le candidat idéal pour de longues missions d'exploration planétaire comme pour des opérations dans des environnements à la fois structurés et non-structurés. Le nombre d'applications terrestres est élevé: surveillance interne et externe de bâtiments, exploration ou nettoyage de gaines de ventilation, machines de chantier ou agricoles, assistance après des tremblements de terre ou des incendies, voire même les opérations de déminage, si des capteurs fiables apparaissent un jour.

Nous sommes actuellement dans la phase suivante de développement du robot qui vise à lui donner plus d'autonomie grâce à l'ajout de capteurs supplémentaires ainsi qu'à le doter d'une architecture modulaire de contrôle.

Vous trouverez plus d'information sur le robot Shrimp ainsi que des vidéos numériques sur la pagehttp://dmtwww.epfl.ch/isr/als/systems/shrimp.html.

Shrimp: ein Roboter für rauhes Gelände

Anwendungen auf der Erde und auf anderen Planeten

Mobile autonome Roboter sind zu einem wichtigen Bestandteil der Erforschung unseres Sonnensystems geworden. Für ihre Fortbewegung auf der häufig rauhen Planetenoberfläche müssen neue Antriebskonzepte studiert und entwickelt werden. Man unterscheidet grundsätzlich zwei Antriebskonzepte: den Radantrieb, wie er beispielsweise von der Nasa eingesetzt wurde (Sojourner), und den Raupenantrieb, für den sich die ESA entschieden hat (Nanokhod). Diese Roboter haben gegenüber Robotern mit Beinen die prinzipiellen Vorteile einer geringeren Komplexität und eines geringeren Energieverbrauchs. Dagegen ist ihre Fähigkeit, grosse Hindernisse zu überwinden, auf den Durchmesser ihrer Räder beschränkt.

Die Autoren dieses Artikels haben ein neues Geländefahrzeug entwickelt, das mit sechs motorisch angetriebenen Rädern ausgerüstet ist, von denen das Vorderrad als einziges eine gefederte Aufhängung besitzt. Die Federung ermöglicht es, dass zu jedem Zeitpunkt jedes Rad am Boden bleibt. Gelenkt wird mit dem Vorder- und dem Hinterrad sowie mittels differenzieller Kontrolle der Rotation der vier seitlichen Räder. Dies erlaubt eine präzise Lenkung des Fahrzeugs und sogar seine Drehung auf der Stelle.

Tests haben gezeigt, dass sich das Fahrzeug dank parallelen Radaufhängungsgelenken durch eine hervorragende Geländegängigkeit auszeichnet: Es überwindet Hindernisse bis zur doppelten Höhe des Raddurchmessers.

Références

[1] *J. Bares, D. Wettergreen:* Lessons from the Development and Deployment of Dante II. Proceedings of the 1997 Field and Service Robotics Conference, December 1997.

[2] *M. Van Winnendael, G. Visenti, R. Bertrand, R. Rieder:* Nanokhod Microrover Heading towards Mars. Proceedings of Fifth International Symposium on Artificial Intelligence. Robotics and Automation in Space (ESA SP-440), pp. 69–76, Noordwijk, 1999.

[3] *H. W. Stone:* Mars Pathfinder Microrover: A Low-Cost, Low-Power Spacecraft. Proceedings of the 1996 AIAA Forum on Advanced Developments in Space Robotics, Madison WI, 1996.

[4] *R. Volpe, J. Balaram, T. Ohm, R. Ivlev:* Rocky 7: A Next Generation Mars Rover Prototype. Journal of Advanced Robotics 11(4), December 1997.

[5] *T. Kubota, Y. Kuroda, Y. Kunii, I. Natakani:* Micro Planetary Rover Micro5. Proceedings of Fifth International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space (ESA SP-440), pp. 373–378, Noordwijk, 1999.

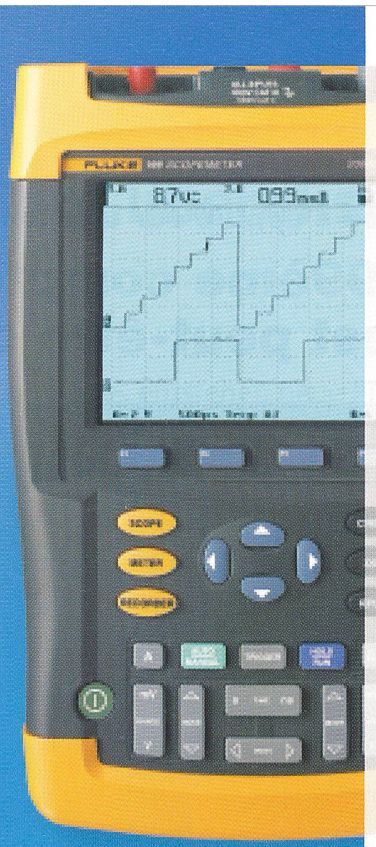
[6] *A.L. Kemurdjian, V. Gromov, V. Mishkinyuk, V. Kucherenko, P. Sologub:* Small Marsokhod Configuration. International Conference on Robotics & Automation, Nice, 1992

[7] *I. Leppänen, S. Salmi, A. Halme:* Work Partner HUT Automation's new hybrid walking machine. Clawar 98, First International Symposium, Brussels, 1998.

[8] *M. Lauria, F. Conti, P.-A. Maeusli, M. Van Winnendael, R. Bertrand, R. Siegwart:* Design and Control of an Innovative Micro-Rover. Proceedings of 5th ESA Workshop on Advanced Space Technologies for Robotics and Automation, The Netherlands, 1998.

[9] *E. Tunstel:* Evolution of Autonomous Self-Righting Behaviors for Articulated Nanrovers, Proceedings of Fifth International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space (ESA SP-440), pp. 341–346, Noordwijk, 1999.

- 200 MHz Bandbreite
- 2,5 GS/s Abtastrate
- 27.500 Punkte Aufzeichnungslänge
- Connect and View™-Triggerung
- Bis 1000 V isolierte Eingänge
- Multimeter- und Schreiber-Funktion
- 4 Stunden Akku-Betrieb



Serie 190 ab CHF 3'398.–
exkl. MwSt.

200 MHz und 2,5 GS/s in einem Hand-Oszilloskop!

FLUKE®

Hier ist die neue ScopeMeter® 190 Serie!

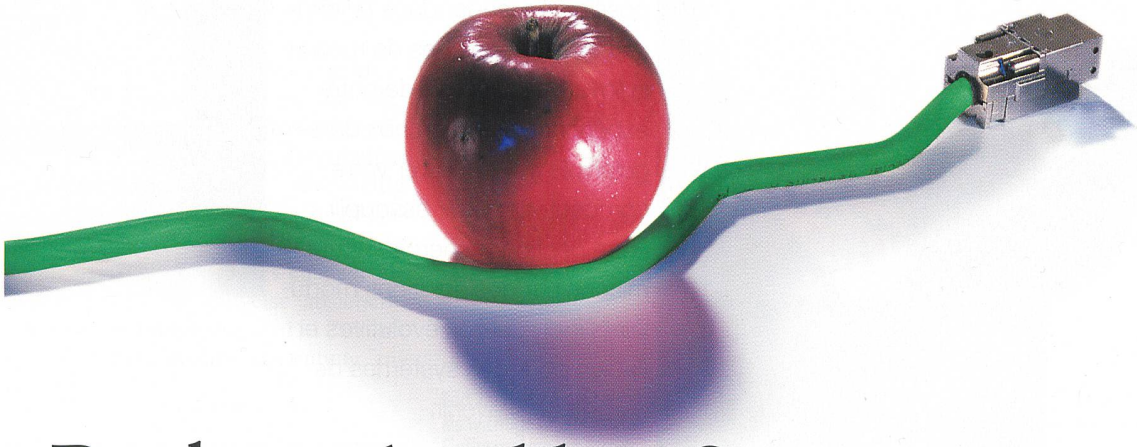
Wenn Sie meinen, dass **200 MHz Bandbreite** für ein **Handoszilloskop** beeindruckend sind, was halten Sie dann von einer **Echtzeit-Abtastrate von 2,5 GS/s?**
An beiden Eingängen!
Oder von einer **Speichertiefe** von **27.500 Punkten** für langfristige, hochauflösende Aufzeichnungen?
An beiden Eingängen!
Und von der **Abspeicherung der letzten 100 Bildschirminhalte** zum Erfassen von Anomalien? **Immer!**
Trotz der **hervorragenden technischen Spezifikation** ist dieses robuste Oszilloskop **ideal für den mobilen Einsatz.** Denn wenn keine Netzspannung da ist, messen Sie einfach **4 Stunden** lang im **Batteriebetrieb.** Und mit den unabhängigen getrennten Eingängen hat das ScopeMeter® Serie 190 eine **Sicherheitszertifizierung für 1000 V CAT II- und 600 V CAT III-Umgebungen.** Die ScopeMeter® der 190er-Serie gibt es in 200-, 100- und 60-MHz-Ausführungen.

Fluke. *Damit Ihre Welt intakt bleibt.*

01/738 30 00
www.fluke.com/scopemeter

Fordern Sie noch heute Ihren Produktprospekt an oder erleben Sie die virtuelle Demonstration im Internet.

Fluke (Switzerland) AG
Industrial Division
Leutschenbachstrasse 95, CH-8050 Zürich
Telefon 01 738 30 00, Fax 01 738 30 10
Internet: http://www.fluke.ch, e-mail: info@ch.fluke.nl



Das beste Anschluss-System seit Adam und Eva.

MMC3000: Die Universalverkabelung für sämtliche Anwendungen.

Noch Fragen?

BKS Kabel-Service AG, Fabrikstrasse 8, CH-4552 Derendingen
Tel: +41/32-681 54 54, Fax: +41/32-681 54 59, e-mail: bksmail@bks.ch, www.bks.ch

BKS Kabel-Service AG, Rue de Galilée, CH-1400 Yverdon-les-Bains
Tel: +41/24-423 94 09, Fax:+41/24-423 94 10, e-mail: romandie@bks.ch, www.bks.ch

BKS
Plug in High-Tech!

Notre compétence s'appuie sur une longue expérience.

Le 1849 999ème compteur électronique Enermet est peut-être déjà le vôtre.

Depuis plus de 50 ans l'entreprise ENERMET jouit d'une position de leader dans la fabrication de techniques de mesure innovatives. Profitez de notre expérience des marchés dérégularisés pour assurer votre compétitivité: pour assouplir votre gestion d'énergie, nous misons sur des solutions modulaires individuelles évolutives et fiables pour des systèmes de comptage d'avenir.

ENERMET

ENERMET AG ■ UNDERMÜLISTRASSE 28 ■ CH-8320 FEHRALTORF
TEL. 01/954 81 11 ■ FAX 01/954 81 01