CD/491
28 March 1984
ARABIC
Original : ENGLISH

مؤتمر نزع السلاح

جمهورية ألمانيا الاتحادية

ورقة عمل

جوانب التطورات الحديثة في تقنيات تسجيل الظواهر الاهتزازية

موجز

يتم الابلاغ عن التطورات الهامة في تقنيات تسجيل الظواهر الاهتزازية منذ عام ١٩٧٨، عند ما كان فريق خبراء الاهتزاز عاكف على جمع التقرير الأول (CCD/558) لتقديمه الى لجنة نزع السلاح • وتستعرض هذه الورقة على وجه الخصوص التطورات التي حدثت في السنوات الخمس الماضية والتي يعتبر انها أفضت الى تحسين قدرة نظام اهتزازى عالمي على الكشف وتحديد الموقع • أما أكثر النماذج تقدما في هذا النظام ، وهو النموذج المقدم في الوثيقة CCD/558 ، فقد سمي الشبكة الثالثة (مرصد البحوث السيزمولوجية) • وقد قدر أن هذا النظام الافتراضي قادر على كشف الظواهر الاهتزازية التي يتراوح قدر موجاتها الداخلية بين ٣ر٨ و ٢ر٤ mb في النصف الشمالي للكرة الأرضية ، وبين ٠ر٤ و ٦ر٤ mb في نصفها الجنوبي ، مع نسبة احتمالية قدرها ٩٠ في المائة • ونظرا الى حدوث تطورات في الأجهزة وعلم الالكترونيات وتكنولوجيا الحاسبات الالكترونية وفي الاتصالات السلكية واللاسلكية ، فان الشبكة الثالثة (مرصد البحوث السيزمولوجية) لم تعد تمثل مفهوما افتراضيا، بل مفهوما محددا • وفيما يتعلق بالقدرة على الكشف ، تعتبر التطورات التالية عناصر رئيسية لشبكة عالمية مستقبلا :

- ان نظم احتياز البيانات الحالية الاداء المكونة من أجهزة قياس الهزات الأرضية العريضة النطاق والعالية التحليل والحساسية ، الى جانب محولات A/D ذات الـ ٢٢ مثقب ، توفر كل المعلومات الواردة في الاشارات الاهتزازية دون فقدان الدقة •
- انّ أجهزة قياس الهزات الأرضية المركبة في حفر بقاع المحيطات تبشر بسدّ الفجوة في القدرة على الكشف بين نصف الكرة الشمالي ونصفها الجنوبي •
- يمكن استخدام نظم التسجيل السيزمي باستخدام تقنيات " منخفضة القدرة " من أجل تحديد الشكل الأمثل للشبكة الاهتزازية العالمية نظرا الى أن الطاقة الكهربائية اللازمة للتشغيل الطويل الأجل يمكن اخذها من البطاريات أو الألواح الشمسية •
- ثبت أن نظم التوابع موثوقة وفعالة للبث الفورى للبيانات السيزمية الرقمية العالية الجودة من كل أرجاء الكرة الأرضية •

— يمكن ادخال تحسين كبير في عمليات كشف الظواهر الاهتزازية وتحديد مواقعها وتعرّفها ضمن مسافات محلية واقليمية باقامة صفائف صغيرة من مقاييس الاهتزازات بدلا من المحطات الفردية •

— انخفضت تكاليف نظامي التسجيل والمعالجة السيزميين الرقميين نظرا الى تكنولوجيا المشغلات الدقيقة ، بل انها أصبحت الآن أقل كلفة من النظم المناظرة •

وفي هذا السياق ، ثمة جانب آخر هو امكانية تحسين قدرة محطات تسجيل الهزات الأرضية على كشف الهزات في مناطق ذات أوضاع ضوضائية غير مؤاتية ، وذلك بوضع أجهزة قياس الهزات الارضية في الحفر • والنتائج الأولية التي أحرزت بواسطة شبكة محلية أقيمت حديثا مكونة من ست محطات موضوعة في ثقوب حفر في الجزء الشمالي من جمهورية ألمانيا الاتحادية — وهي منطقة مغطاة برواسب طمي كثيفة — تبيّن أن عتبة الكشف في أجهزة الحفر السفلى منخفضة بنفس قدر انخفاض بعض محطات صفيفة مقاييس الاهتزازات في جمهورية ألمانيا الاتحادية ، التي ماتزال أشد الشبكات حساسية في بلدنا • وتفيد هذه النتائج الأولية أن مفهوم المحطات الموضوعة في ثقوب الحفر في صفائف صغيرة بوصفها عناصر من شبكة عالمية يبشر بالرصد الفعال للظواهر الاهتزازية الاقليمية والمحلية في المناطق ذات الاهتمام • وتمثل التكنولوجيا التي تستخدم فيها هذه الشبكة الرقمية الجديدة آخر مراحل تطور نظم التسجيل للأغراض السيزمولوجية في بلدنا • كما يمكن استخدام هذه التكنولوجيا من أجل نظام " الصندوق الأسود " في شبكة عالمية مستقبلا نظرا الى ارتفاع درجة الاتمتة في تسجيل البيانات الاهتزازية وتحليلها •

وأدى التقدم المحرز في ميدان التكنولوجيا في السنوات الخمس الماضية الى تحسين نوعية تسجيل البيانات الاهتزازية وبثها ومعالجتها وتحليلها • ونتيجة لهذا التطور ، ينبغي وضع مفهوم جديد ومحسّن لشبكة عالمية من أجل اظهار فعالية الأساليب السيزمولوجية الحديثة لرصد حظر التجارب الشامل مستقبلا •

١ — مقدمة

أبلغ عدد متزايد من البلدان في السنوات الأخيرة عن حدوث تحسن في القدرات التقنية في مجال أجهزة قياس الاهتزازات الخاصة بتسجيل الهزات الأرضية • وكان لأوجه التقدم المحرز في الالكترونيات وتكنولوجيا الحاسبات الألكترونية وفي الاتصالات السلكية واللاسلكية تأثير كبير في هذه التطورات •

وبدأ عصر جديد لعلم الاهتزازات بتحويل الاشارات الاهتزازية المسجلة من الشكل التناظري الى الشكل الرقمي • وقد أتاح ذلك استخدام الحاسبات الألكترونية العالية السرعة في معالجة التسجيلات السيزمية وتحليلها • والمرة الأولى التي طبقت فيها التقنيات الرقمية على نطاق كبير كانت في منتصف الستينات ، عندما تم تشغيل صفيفة مسجلات الهزات الأرضية ذات الفتحات الكبيرة، المقامة في مونتانا بالولايات المتحدة الأمريكية • ومنذ ذلك الوقت ، قامت بلدان شتى باستحداث واقامة نظم رقمية لتسجيل البيانات الاهتزازية وتحليلها •

ويعود تاريخ " السيزمولوجيا الرقمية " في بلدنا الى أوائل السبعينات ، عند ما بدأ العمل في مشروع صفيفة غرايفنبرغ الرقمية العريضة النطاق • وكان الهدف من هذا المفهوم توفير جهاز للبحوث السيزمولوجية يستخدم كامل محتوى الاشارات السيزمية من المعلومات عن طريق التسجيل العريض النطاق بالاقتران مع قدرات الصفائف • ونظرا الى الاحتياجات المختلفة فيما يتعلق بالتحليل ، والنطاق الدينامي ، وجودة البيانات ، والمرونة ، كان من الضروري استخدام مكونات رقمية في النظام • وفي أوائل عام ١٩٨٠ ، تمت اقامة ١٣ محطة صفائف بها ما مجموعه ١٩ جهازا من أجهزة النطاق العريض • وأمكن اطلاع فريق خبراء الاهتزازات على أداء نظام الصفائف ، وذلك في حلقة تدريبية عقدت في تموز / يوليه ١٩٨٠ (GSE/FRG/7) أما البيانات العالية الجودة الخاصة بصفيفة غرايفنبرغ فقد استخدمت استخداما كثيفا لدراسة مجموعة متنوعة جدا من المشاكل السيزمولوجية (SEIDL and BERCKHEMER, 1982; RAEKERS and MOLLER, 1982) • وعلاوة على ذلك ، اثبتت استقصاءات عديدة أن بيانات الصفائف العريضة النطاق يمكن ترشيحها على النحو الأمثل لأغراض الكشف (SEIDL, 1979; STAMMLER, 1981; FERBER, 1983) ، وقد كشفت هذه الاستقصاءات النقاب عن امكانيات جديدة لتعيين الظواهر الاهتزازية (HARJES, 1979; HANKA, 1982) .

أما اليوم ، فلم يعد نظام غرايفنبرغ يمثل آخر المعايير التكنولوجية ، ولكن ، نظرا الى نوعية التسجيلات السيزمية فيما يتعلق باتساع النطاق والنطاق الدينامي ، لابد من أن يظل يعتبر من بين نظم التسجيل العالية الأداء العاملة حاليا •

وعلى النطاق العالمي ، تنتمي مراصد البحوث السيزمولوجية الى نفس فئة نظام غرايفنبرغ من حيث المعايير التقنية وجودة البيانات والقدرة على التسجيل • فكل من هذه المحطات الـ ١٣ ، التي يجرى تشغيلها حاليا في بلدان شتى في جميع انحاء الكرة الأرضية ، مجهزة بجهاز لقياس الهزات الأرضية عريض النطاق وذى مركّبات ثلاث • ويتم ترشيح اشارات أجهزة الاستشعار لانتاج موجات طويلة المدة وموجات قصيرة المدة • ويسجل النظام باستمرار الاقنية الثلاث للبيانات الطويلة المدة ، ويأخذ عينة منها مرة كل ثلاث ثوان ، في حين أن البيانات الطويلة المدة للمركّب الرأسي التي ترقّم ٢٠ مرة في الثانية لا تسجّل الا عند كشف ظاهرة ما من الظواهر الاهتزازية •

انّ أجهزة قياس الهزات الأرضية الخاصة بمراصد البحوث السيزمولوجية مازالت أجهزة النطاق العريض الوحيدة التي يتم تشغيلها في حفر • ونظرا لوضع تلك الأجهزة على عمق ١٠٠ متر تقريبا ، فان التسجيلات الطويلة المدة تتأثر بالضوضاء الناجمة عن الرياح بقدر أقل مما تتأثر بها التسجيلات المأخوذة من الأجهزة التقليدية لقياس الهزات الأرضية الموضوعة قرب السطح • وحيث ان أحد مراصد البحوث السيزمولوجية يقع على بعد ٥٠ مترا فقط من محطة ذات مركّبات ثلاث من صفيفة غرايفنبرغ ، يمكن اجراء مقارنة مباشرة لقدرة النظامين على التسجيل • ولا غروان محطات الحفر تتيح مستوى ضوضاء أدنى في النطاق الطويل المدة ، ولا سيما فيما يتعلق بالمركبات الأفقية ، ويتوقف ذلك على أوضاع الرياح • ومن الجهة الأخرى ، يستحسن ، لأغراض عديدة ، تسجيل ناتج مقياس الهزات الأرضية العريض النطاق بدلا من الاشارات المرشحة الطويلة المدة والقصيرة المدة • ويمكن اعتبار النظامين كليهما امثلين عند ما تؤخذ في الاعتبار الأغراض المختلفة التي استحدثا من أجلها والتكنولوجيا المتاحة وقت تصميمهما •

٢ــ التطورات التقنية التي حدثت في الآونة الأخيرة

قدّمت أربعة أمثلة عن الشبكات العالمية الممكنة لرصد حظر شامل للتجارب في التقرير الأول لفريق الخبراء الاهتزازيين (CCD/558) ، الذي قدم الى لجنة نزع السلاح في آذار / مارس ١٩٧٨ • وافترض أن أكثر النظم تقدما ، المسمى بالشبكة الثالثة (مرصد البحوث السيزمولوجية) ، يتألف من محطات عالية الجودة لتسجيل الهزات الأرضية من نوع مراصد البحوث السيزمولوجية • ويبين الشكل ١ ، التوزيع العالمي للمحطات كما يرد في الوثيقة CCD/558 • أما قدرة هذه الشبكة على كشف الظواهر الاهتزازية بمستوى احتمالي نسبته ٩٠ في المائة فقد قدّرت بما يتراوح بين ٣ر٨ و ٣ر٤ mb في النصف الشمالي للكرة الأرضية ، وبين ٤ر٠ و ٦ر٤ mb في نصفها الجنوبي • وان توزيع محطات الشبكة الثالثة يتطابق تطابقا جيدا نوعا ما مع محطات تسجيل الهزات الأرضية القائمة حاليا ، وهو بعيد عن كونه توزيعا أمثلا من حيث القدرة على الكشف • وفي سبيل تحقيق مزيد من التحسينات ، سيلزم القيام بما يلي :

— زيادة عدد محطات تسجيل الهزات الأرضية ، وخاصة في النصف الجنوبي للكرة الأرضية ؛

— اقامة محطات جديدة لتسجيل الهزات الأرضية في حفر بقاع المحيطات ؛

— تحقيق الدرجة المثلى لتوزيع المحطات من حيث قدرتها على كشف الاهتزازات ؛

— اقامة صفائف بدلا من محطات فردية في المناطق ذات الاهتمام المحتمل وحولها ؛

— اقامة أجهزة قياس الهزات الأرضية الخاصة بالمحطات الفردية أو الصفائف في حفر أو مناجم لتوفير أوضاع ضوضائية مثلى •

واضطلع HANNON بدراسات (في عام ١٩٨٣) عن قدرة النماذج التي تتضمن بعض هذه العناصر • وتبين هذه الدراسات الدرجة التي يمكن بلوغها في تحسين نتائج CCD/558 • كما أن الشروط التكنولوجية اللازمة لشبكة عالمية تشمل جميع الجوانب المذكورة قد استوفيت خلال السنوات القليلة الماضية فقط • وتوضح النقاط التالية العوامل والتطورات الرئيسية التي يتوجب مراعاتها في تصميم شبكة عالمية مقبلة وتقييم قدرتها •

١ــ ان النظم الجديدة لاحتياز البيانات الاهتزازية ، وخاصة أجهزة قياس الهزات الأرضية ومحولات A/D ، قد أدت الى تحسين التحليل والحساسية • فيمكن تشغيل أجهزة قياس الهزات الأرضية ، مثل جهاز TG 44 000 ، في أكثر المواقع هدوءا ، حيث ان الضوضاء الالكترونية لم تعد تحد من التحليل • ان الجمع بين هذا الجهاز ومحول A/D جديد مكون من ٢٢ قطعة ، الذي يجرى استحداثه حاليا في الولايات المتحدة ، سيجعل من الممكن تسجيل نواتج النطاق العريض بنفس الدقة التي يتم فيها التسجيل بواسطة الجهاز المتعدد النطاقات المستخدم حاليا •

٢ــ تحققت تحسينات هامة في أجهزة تسجيل الهزات الأرضية في قاع المحيطات منذ قيام الولايات المتحدة بنشر نظام عريض النطاق من مركبات ثلاث في حفر بقاع المحيط • وينخفض مستوى الضوضاء المحيطة انخفاضا كبيرا عند استخدام هذه التكنولوجيا • ويمكن ، باستخدام نظم من هذا النوع ، زيادة تحسين القدرة على كشف الاهتزازات في الأقاليم الساحلية والمناطق الجزرية ، وخاصة في النصف الجنوبي للكرة الأرضية •

٣ــ ان وحدات المشغلات الدقيقة الجديدة " المنخفضة القدرة " تستهلك قدرا منخفضا جدا من الطاقة • فالمحطات الاهتزازية المبنية بهذه التكنولوجيا يمكن وضعها في أى مكان تقريبا ، حيث ان الطاقة الكهربائية اللازمة للتشغيل الطويل الأجل يمكن استمدادها من البطاريات أو الألواح الشمسية • ويمكن تحديد مواقع محطات شبكة من هذا النوع تحديدا أمثل فيما يتعلق بالمهام التي صممت الشبكة من أجلها •

٤ــ لقد أثبتت " الشبكة الاقليمية للتجارب الاهتزازية " التابعة للولايات المتحدة فعالية وموثوقية استخدام نظم التوابع من أجل نقل البيانات الاهتزازية العالية الجودة عبر عدة آلاف من الكيلومترات• ان ادماج تقنيات المشغلات الدقيقة والاتصالات السلكية واللاسلكية في هذا النظام يمثل مرحلة جديدة في تطوير مرافق التسجيل السيزمولوجي • ويمكن اعتبار هذه التكنولوجيا معيارا لنظام عالمي مستقبلا •

٥ــ تم الحصول على نتائج مشجعة فيما يتعلق بكشف الظواهر الاهتزازية المحلية والاقليمية وتعيينها وتحديد مواقعها ، وذلك من صفيفة اهتزازية ذات فتحات صغيرة ، أى مايسمى بالصفيفة الصغيرة ، تقوم النرويج بتشغيلها حاليا • ويمكن لنظم كهذه ، بالاقتران مع محطات عريضة النطاق من نوع الشبكة الاقليمية للتجارب الاهتزازية ، أن تصبح عناصر رئيسية في شبكة رابعة •

٦ــ ان تكلفة نظم التسجيل والتحليل رقميا قد انخفضت بدرجة كبيرة بفضل تكنولوجيا المشغلات الدقيقة • فحتى المؤسسات ذات الميزانيات المنخفضة ستصبح قادرة الآن على احتياز محطات رقمية عالية الجودة لتسجيل الهزات الأرضية •وثمة نظم منخفضة الكلفة يجرى عرضها تجاريا من أجل مجموعة متنوعة من التطبيقات • ومن ثم ، فلم تعد ثمة حاجة لتشغيل محطات تناظرية في نظام عالمي مستقبلا•

٣ــ منشآت اهتزازية جديدة في جمهورية ألمانيا الاتحادية

ثمة جانب يتعين النظر فيه لما له من أهمية فيما يتعلق بقدرة النظام العالمي ، وهو يتصل بتحسين نسبة الاشارات الى الضوضاء باقامة أجهزة قياس الهزات الأرضية في حفر على عمق يبلغ عدة مئات من الامتار ، أو ، اذا أمكن ، في مناجم مهجورة • وفي البلدان ذات العدد الكبير من السكان ، والتي تكون فيها الصناعة وحركة المرور كثيفتين ، تتمثل احدى المصاعب الرئيسية المتعلقة بالتسجيل البالغ الحساسية للاشارات الاهتزازية في ايجاد موقع هادئ لمحطة تسجيل الهزات الأرضية • كما أن المناطق النائية المغطاة برواسب كثيفة تثير مشكلة الضوضاء الاهتزازية العالية • ففي هذه المناطق ، يتيح مفهوم الحفر امكانية تحسين قدرة محطة تسجيل الهزات الأرضية على كشف الاهتزازات • ان النتائج الأولية المستخلصة من شبكة اهتزازية رقمية محلية جديدة من المحطات المقامة مؤخرا في حفر في الجزء الشمالي من ألمانيا (سكسونيا الدنيا) ، وهي منطقة مغطاة تماما برواسب طمي كثيفة ، تبين الى أى مدى يمكن للتوقعات أن تتحقق •

وقد أقيمت هذه الشبكة الاهتزازية المحلية في مشروع بدأ في عام ١٩٨١ كجزء من برنامج استقصاء جيولوجي وجيوفيزيائي شامل اضطلع به لتقرير ملاءمة غلاف ملحي كمستودع للنفايات العالية الاشعاع • وينبغي لدرجة اهتزاز الموقع الذى يجرى رصده بواسطة شبكة محلية أن توفر معلومات عن مناطق تيكتونية نشطة ممكنة في هذه المنطقة • وكانت احدى العقبات الرئيسية التي أعاقت تسجيل هزات أرضية محلية صغيرة لم يبلغ قدرها سوى ML= الصفر هو ارتفاع مستوى الضوضاء السيزمية •

وكانت سعات الضوضاء المقاسة عند السطح تعادل هزة أرضية ذات سعة محلية تبلغ M_L = ٣ر٣ اذا ما افترض أن مسافة المركز السطحي تبلغ ١٠٠ كم •

وقد تمّ أخذ قياسات للضوضاء القصيرة المدة باستخدام مسبار خاص لقياس الهزات الأرضية بغية تعيين الانخفاض في سعات الضوضاء كدالّة للعمق في ثلاث حفر مختلفة • وكما هو معروف من منشورات عدة مؤلفين (DOUZE, 1964; BATH, 1966; TAKANO and HAGIWARA, 1966 ; HARWARD, 1970) فان سلوك الضوضاء كدالّة للعمق يتبع اتجاها عاما • فالسعات تتناقص مع تزايد التردد والعمق • غير أنه قد وجد أن النتائج لا تتفق مع بعضها بعضا ، وربما يعزى ذلك الى اختلاف الأوضاع الجيولوجية في المواقع المستقصاة •

وفي الحفر الثلاث المستخدمة لأخذ القياسات ، سجلت عينات ضوضاء اهتزازية على اعماق تتراوح بين ٥٠ مترا و ٤٠٠ متر عند كل ٥٠ مترا لمدة ١٥ دقيقة تقريبا عند كل مستوى • وفي الوقت ذاته ، سجلت الضوضاء بواسطة جهاز مقام على السطح • ولم يتم ايجاد اية اختلافات هامة بين التسجيلات المأخوذة على العمق ذاته • وكما هو متوقع ، فقد تناقصت سعات الضوضاء بزيادة العمق • فعند عمق ٤٠٠ متر ، وجد ان النقصان عند ١٠ هرتز يبلغ ٤٠ ديسيبل (dB) بالمقارنة مع السطح • ويمكن استخلاص مزيد من التفاصيل عن السلوك مقابل العمق من المثال المقدم في الشكل ٢ •

انّ القدر المحلي المعادل من مستوى الضوضاء على عمق ٣٠٠ متر تطابق هزة أرضية تبلغ M_L = ١ر٩ ± ٥ر٠ بافتراض أن المركز السطحي يقع على بعد ١٠٠ كم • ويمكن بسهولة استخلاص عتبة الكشف من هذه القيمة باضافة ٣ر٠ وحدات ، بافتراض أن سعة الاشارات تبلغ ضعف متوسط سعات الضوضاء • وعلى ذلك ، يتوقع من محطة جوفية مقامة على عمق ٣٠٠ متر أن تكشف ظواهر اهتزازية ذات قدر محلي يبلغ ٢ر٧ و ٣ر٣ و ٣ر٩ على بعد ٢٠٠ و ٣٠٠ و ٥٠٠ كم من المركز السطحي على التوالي • وتكون القيم المقابلة لذلك والمسجلة بواسطة محطة سطحية أعلى من ذلك ١ر٤ وحدة قدر بافتراض أن نسبة الاشارة الى الضوضاء تزداد بنفس الدرجة التي ينخفض فيها مستوى الضوضاء •

وينبغي أن نضيف ، في هذا السياق ، أن قدرات المحطات على الكشف تقدر عادة من حيث ضخامة الموجات الداخلية mb ، وهو مقياس لقوة ظاهرة اهتزازية ما في المدى النائي للهزات عن محطة التسجيل • غير أنه ، فيما يتعلق بالمسافات المحلية والاقليمية للمركز السطحي ، لا يتحدد سوى القدر المحلي M_L ، استنادا الى الموجات السطحية • ان مقياسي السعة يتعارضان مع بعضهما البعض ، لذلك فان من غير الممكن مقارنة M_L و mb مباشرة • غير أن NUTTLI (١٩٧٣) قد أبلغ عن قدر محلي معدل يسمى m_{blg} ، يمكن استخدامه لتوسيع نطاق العلاقة الاهتزازية mb:Ms بحيث تنخفض الى mb = ٣ر٠ ، اذا اتيحت دالّات التخفيف الاقليمي المناسبة •

وقد وضع مفهوم خاص بشبكة محلية من الحفر على أساس النتائج التي تم الحصول عليها من قياسات الضوضاء • وفي الصيغة النهائية من هذه الشبكة ، هناك خمس محطات موزعة بشكل مخمّس ، مع وجود محطة اضافية في المركز • وقد أقيمت هذه الأجهزة الستة لقياس الهزات الأرضية على عمق ٣٠٠ متر • وخططت الشبكة لتغطي منطقة أبعادها ٢٠×٢٠ كم ، بحيث يبلغ متوسط المسافة بين المحطات ١٠ كم تقريبا •

وتبين الخريطة في الشكل ٣ مواقع وجود هذه الأجهزة • وتحتوى المحطة المركزية جهازا ذا مركبات ثلاث ، في حين أن المحطات المتبقية مجهزة بأجهزة رأسية وجميع المحطات مزودة بأجهزة MARK L4 قصيرة المدة ذات تردد طبيعي مقداره ١ هرتز • وتستخدم وحدات مشغلات دقيقة حديثة لنظام .لتسجيل في الشبكة •

ويبين الرسم البياني التخطيطي في الشكل ٤ عناصر نظام احتياز البيانات في محطة ما من محطات حفر • وتؤخذ عينات من ناتج مقياس الهزات الأرضية بمعدل ١٢٠ هرتز • ولدى محول A/D المكون من ١٢ قطعة قوة تحليل مقدارها ٦٦ديسيبل • ويوفر تقدير الكسب نطاقا ديناميا مقداره ١٢٠ ديسيبل • وباستخدام وحدات " منخفضة القدرة " ، يمكن تشغيل محطة ما ببطاريات لمدة ٤ أشهر تقريبا • وتبث البيانات الرقمية من كل محطة باستمرار عن طريق خطوط هاتفية تجارية بسرعة ارسال تلغرافي قدرها ٤٠٠ ٢ بود الى مركز تسجيل قرب المحطة المركزية للشبكة •

والغرض الرئيسي من نظام التسجيل المركزى هذا هو مراقبة الشبكة والمزامنة بينها ، وجمع البيانات من محطات في حفر ، وكشف الظواهر الاهتزازية وتخزينها مؤقتا على اسطوانات مغناطيسية • ويبين الشكل ٥ رسم بياني تخطيطي لهذا النظام المستحدث حديثا للمشغلات الدقيقة المتعددة • وترسل البيانات المسجلة مرة في اليوم ، أو حسب الطلب اذا لزم الأمر ، عبر خط بيانات سرعة ارساله التلغرافي ٨٠٠ ٤ بود (DATEX-P) الى مركز تحليل البيانات الاهتزازية التابع للمعهد الاتحادى للعلوم الأرضية والموارد الطبيعية في هانوفر • ويمكن للنظام ، من حيث المبدأ ، أن يبث الظواهر الاهتزازية المسجلة عبر أقنية الاتصالات السلكية واللاسلكية هذه في جميع أنحاء الكرة الأرضية • بل ان من شأن قدرة نظم التوابع الحديثة مثل المنظمة الدولية للاتصالات بواسطة التوابع (انتلسات) أن تتيح البث الفورى •

وعلى وجه الاجمال ، فان هذه الشبكة تدون آخر مرحلة تكنولوجية في تطوير نظم التسجيل للأغراض السيزمولوجية في بلدنا •

وفور وضع هذا النظام موضع التشغيل ، أجريت تجربة لتحديد الزيادة في نسبة الاشارات الى الضوضاء التي تم الحصول عليها من الأجهزة الجوفية بالمقارنة مع المحطات السطحية • وأقيم جهاز رأسي اضافي لقياس الهزات الأرضية لهذا الغرض قرب السطح عند محطة الحفرة المركزية • ويبين الشكل ٦ تسجيلين نمطيين للأجهزة ، وكلاهما مقدمان بدرجة مماثلة من التكبير • والاشارة الاهتزازية، التي لا توجد الا على سجل مقياس الهزات الجوفي (الاثر الاسفل) ، قد تولدت عن انفجار كيميائي لكمية من الـ TNT وزنها ٠٫٠٢ من الطن (٢ كغ) تم تفجيرها على مسافة ١٠ كم من موقع الأجهزة •

ويقدم الشكل ٧ مزيدا من الأدلة على جودة أداء أجهزة قياس الهزات الأرضية الموضوعة في حفر عميقة في مناطق الضوضاء العالية • وسجلت الاشارات من ظاهرة اهتزازية نائية قدرها ٥٫٢ mb (نظام غرايفنبرغ) في جزر كوريل • والأثران العلويان هما تسجيلان قصيرا المدة بالمحاكاة من الشبكة .لعالمية للمحطات القياسية لتسجيل الهزات الأرضية تم الحصول عليهما بترشيح مناسب لناتج المقياس العريض النطاق للهزات الأرضية لمحطتي الصفائف العاملتين حسب نظام غرايفنبرغ • وتمثل الأقنية المختارة أفضل التسجيلات وأسوأها من الصفيفة فيما يتعلق بنسبة الاشارات الى الضوضاء • واضافة .لى ذلك ، يحتوى الشكل نواتج ممر منخفض مرتشحة من الأجهزة السطحية والجوفية لقياس الاهتزازات ، المفروزة من جديد بقوة ٢٠ هرتز • وكما هو الحال في المثال السابق ، فان الاشارة

في سجل مقياس الهزات السطحي لا يمكن فصلها عن الضوضاء سواء في مجال الزمن أو في مجال الترددات • ولسوء الحظ أنه لم تحدث خلال التجربة ظواهر اهتزازية نائية أو اقليمية على درجة كافية من القوة للتحديد الكمي للتحسن في نسبة الاشارات الى الضوضاء بين الأقنية السطحية والجوفية • غير أن المقارنة مع تسجيلات نظام غرايفنبرغ تبيّن أن عتبة الكشف لمقياس الهزات الأرضية الموضوع في حفر منخفضة بنفس درجة انخفاضها في بعض محطات صفيفة غرايفنبرغ • وهذه نتيجة تبشر بالخير ، حيث ان الصفيفة لا تزال أكثر أجهزة تسجيل الاهتزازات حساسية في بلدنا •

وكانت الاشارات الوحيدة التي شوهدت أثناء عمليات القياس الاختبارية على القناتين كلتيهما اشارات ناجمة عن هزات محلية • وفي المثال المقدم في الشكل ٨ ، فان النسبة بين عوامل التدريج المطبقة على ناتج الجهاز الجوفي والسطحي هي ٥ • ومع مراعاة التكبيرات المختلفة ، فان الاشارة المسجلة في حفرة لها سعات أدنى • غير أن البداية الأولى لا تغطيها الضوضاء كما هي الحال على الأثر السطحي • ويتبيّن أن التحسن في نسبة الاشارة الى الضوضاء فيما يتعلق بالقناة الجوفية تبلغ ٥ر• وحدات من حيث القدر عند ما يتم تحليل فترات زمنية طولها ٥ر• من الثانية قبل بداية الاشارة وبعدها •

وتدل النتائج المحرزة في هذه المرحلة الأولى من تشغيل الشبكة على أن القدرة على الكشف في المناطق التي تكون فيها أوضاع الضوضاء الاهتزازية غير مؤاتية يمكن تحسينها باقامة أجهزة قياس الاهتزازات في حفر • واستكمالا للمشروع ، سيستمر العمل في الدراسات للحصول على مزيد من المعلومات عن قدرة عتبة هذه الشبكة ، وخاصة فيما يتعلق بالاشارات الاهتزازية المحلية والاقليمية •

ان ادماج مفهوم الحفر في نموذج متقدم مستقبلا لشبكة عالمية هو بالتأكيد احدى النقاط الهامة التي يتحين مراعاتها ، بالاضافة الى العناصر التي توفرها التطورات التكنولوجية الأخيرة في مرافق التسجيل السيزمولوجي • وفيما يتعلق بتكنولوجيا الشبكة الموصوفة ، فان النظام ، المصمم لتشغيله ذاتيا وللتحليل التلقائي ، يمكن استخدامه بوصفه " صندوقا أسودا " ، بمراقبة من المراكز الدولية للبيانات • ويمكن اتاحة فرص الوصول الى البيانات عن طريق اقنية حديثة للاتصالات السلكية واللاسلكية • وحيث ان التدخل عن طريق التفاعل البشري ليس ضروريا الا من أجل الصيانة أو الاصلاح ، فمن الممكن ازالة العوامل الذاتية في استخلاص البارامترات الاهتزازية • ويمكن القيام بذلك في المراكز الدولية للبيانات حسب اجراءات متفق عليها • وهذا واحد من المنظورات الرئيسية التي تتيحها التكنولوجيا الحديثة فيما يتعلق بتشغيل شبكة عالمية مستقبلا •

٤ــ الاستنتاجات

عندما كان فريق الخبراء الاهتزازيين يقوم بتجميع تقريره الأول CCD/558 في عام ١٩٧٨ ، كانت قدرات نوعين مختلفين من الشبكات العالمية على الكشف وتحديد الموقع تقدّر كميا • وكان النظام الأول ، المسمى الشبكة الأولى ، مؤلفا من المحطات القائمة لتسجيل الهزات الأرضية ، في حين ان النظام الثاني ، وهو الشبكة الثالثة (مرصد البحوث السيزمولوجية) كان يعيّن شبكة رقمية افتراضية تتألف من محطات افترض من أجلها معيار مراصد البحوث السيزمولوجية • وفي هذه الأثناء ، تم الانتهاء من تجميع التقرير الثالث • ويتضمن معلومات هامة عن منجزات بلدان كثيرة في

ميد أن محطات وشبكات تسجيل الهزات الأرضية • ووفقا للتطورات التي حد ثت في السنوات الخمس الماضية ، تحولت الشبكة الثالثة جزئيا من نظام افتراضي الى نظام عامل • غير أن فريق الخبراء الا هتزازيين لم يضع بعد منظورات جد يد ة لشبكة مقبلة ، مع أن العناصر التقنية لهذ ه الشبكة المتقد مة متاحة بالفعل كما تشير هذ ه الورقة الى ذ لك • اننا نرى ضرورة وضع نموذ ج جد يد لنظام عالمي في أقرب وقت ممكن تؤخذ فيه المرحلة الراهنة من التكنولوجيا كمعيار ، ونرى ، فضلا عن ذ لك ، ضرورة اجراء تقد ير كمي لقد رة هذ ه الشبكة على كشف الا هتزازات وتعيين مواقعها بغية التمكن من تد وين فعالية رصد حظر شامل للتجارب مستقبلا بالوسائل السيزمولوجية المستخد مة في الوقت الراهن •

References

Bath, M.: Underground measurements of short-period seismic noise. - Annali di Geofisica, 19, no. 1, 107-117, 1966.

Douze, E.J.: Signal and noise in deep wells. - Geophysics, Vol. 24, 721-732, 1964.

Ferber, R.: Robust detection of earthquake signals. - In Signal Processing II: Theories and Applications, H.W. Schüssler (ed.), Elsevier, 685-687, 1983.

Hanka, W.: Analysis of broadband Rayleigh waves: A possibility for seismic discrimination. - J. Geophys., 51, 165-179, 1982.

Hannon, W.J.: Seismic verification of a Comprehensive Test Ban. - Energy and Techn. Rev., Lawr. Liv. Nat. Lab., 50-65, May 1983.

Harjes, H.-P.: Spectral interpretation of seismic measurements. - Geol. Jb., E17, 1979 (Germ. text with engl. abstr.).

Harwardt, H.: Mikroseismikbeobachtungen in einer norddeutschen Tiefbohrung. - Obs. Roy. Belgique, Comm. Ser. A-13, Nr. 101 (1971). Assemblee Generale de la Comm. Seism. Europ., Luxemburg 21-29 Sept., 1970.

Nuttli, O.W.: Seismic wave attenuation and magnitude relations for eastern North America. - J. Geophys. Res. 78, 876-885, 1973.

Raekers, E., Müller, G.: The Romanian Earthquake of March 4, 1977 - III. Improved focal model and moment determination. - J. Geophys., 50, 143-150, 1982.

Seidl, D.: The simulation problem for broadband seismograms. - J. Geophys., 48, 84-93, 1979.

Seidl, D., Berckhemer, H.: Determination of source moment and radiated seismic energy from broadband recordings. -

Stammler, W.: Application of prediction error filters for the detection of weak seismic events. -
IEEE Trans. Geosc. Remote Sensing, GE-19, no. 4, 222-230, 1981.

Stammler, W.: Design of matched filters and relevant frequency selective filters for the detection of teleseismic events. -
IEEE Trans. Geosc. Remote Sensing, GE-21, no. 2, 133-140, 1983.

Takano, K., Hagiwara, H.: Preliminary observation of microearthquakes with a deep well seismometer. -
Bul. Earthq. Res. Inst., 44, 1135-1148, 1966.

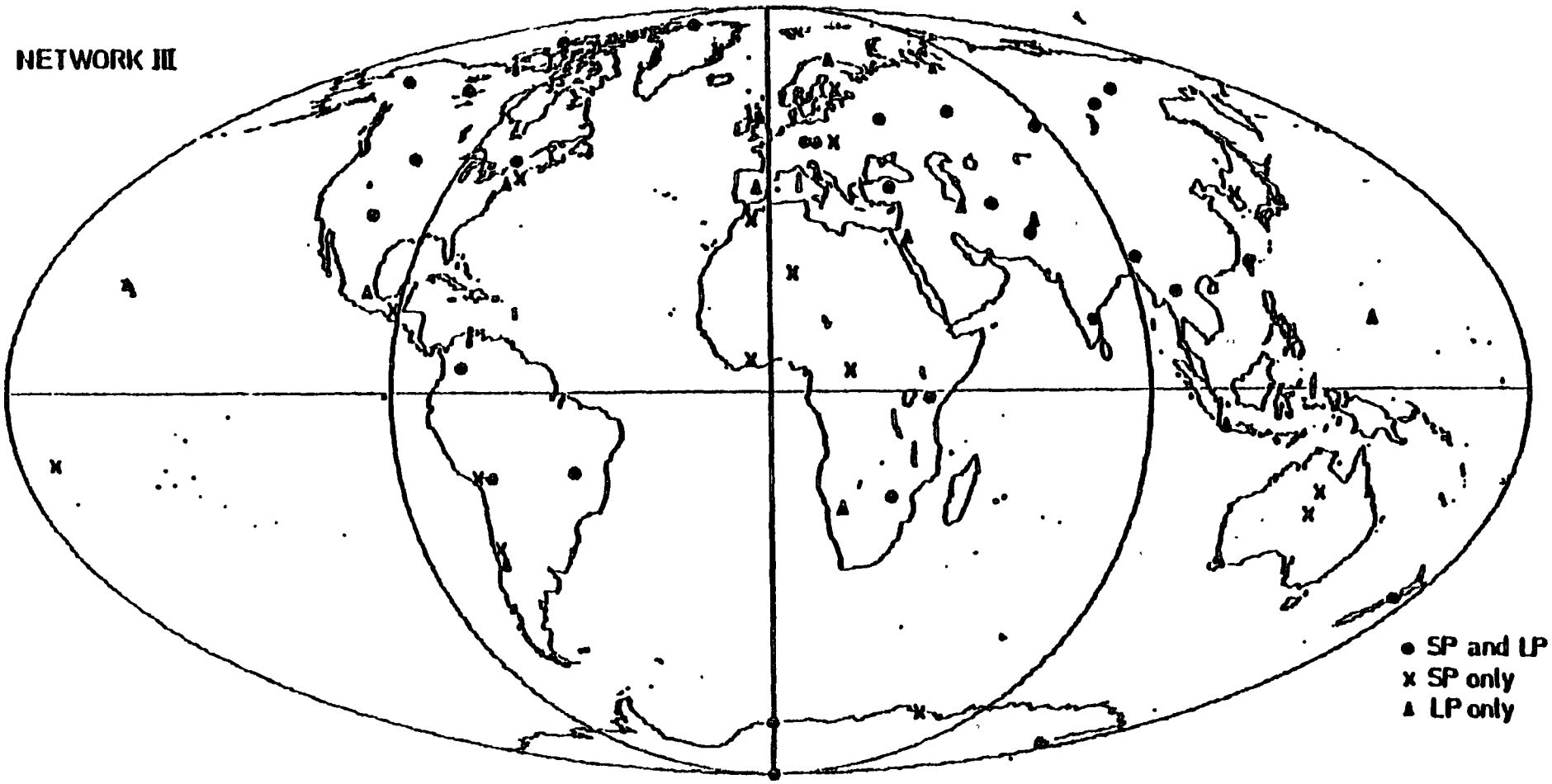

Fig. 1 : Map showing the location of stations in Network III and Network III (SRO) (CCD/558)

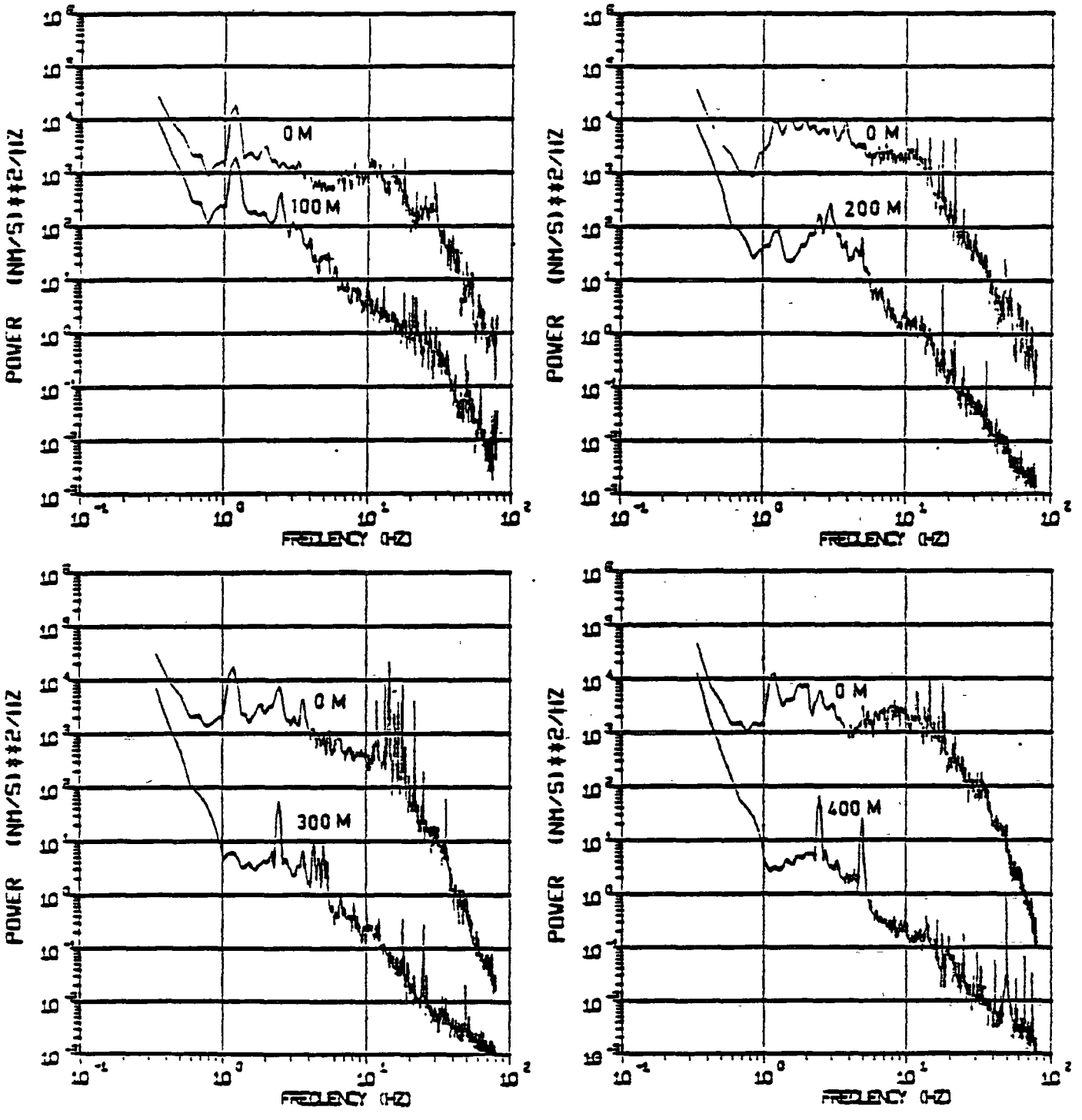

Fig. 2: Power density spectra of seismic noise recorded on the surface and in a borehole at a depth of 100, 200, 300 and 400 m

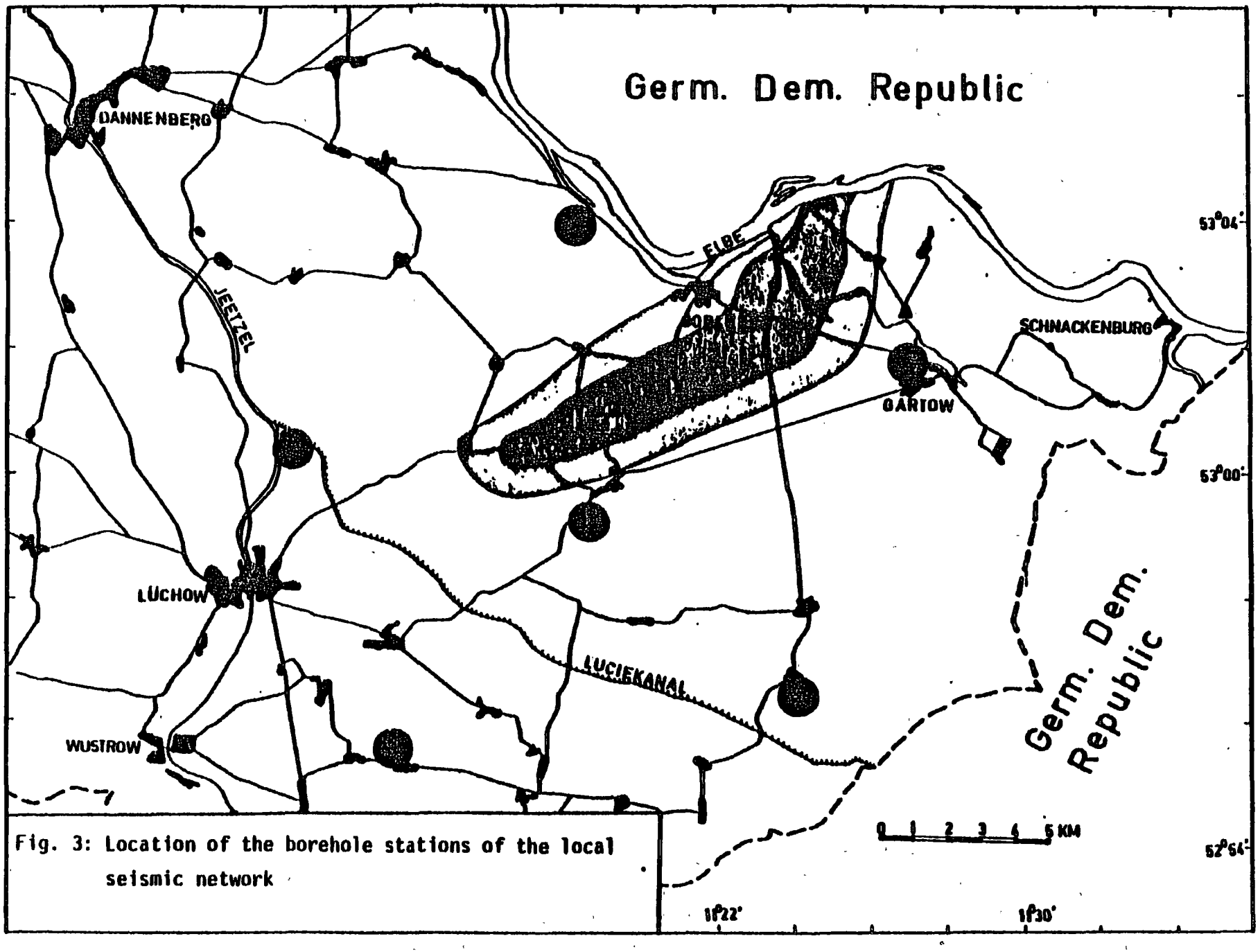

Fig. 3: Location of the borehole stations of the local seismic network

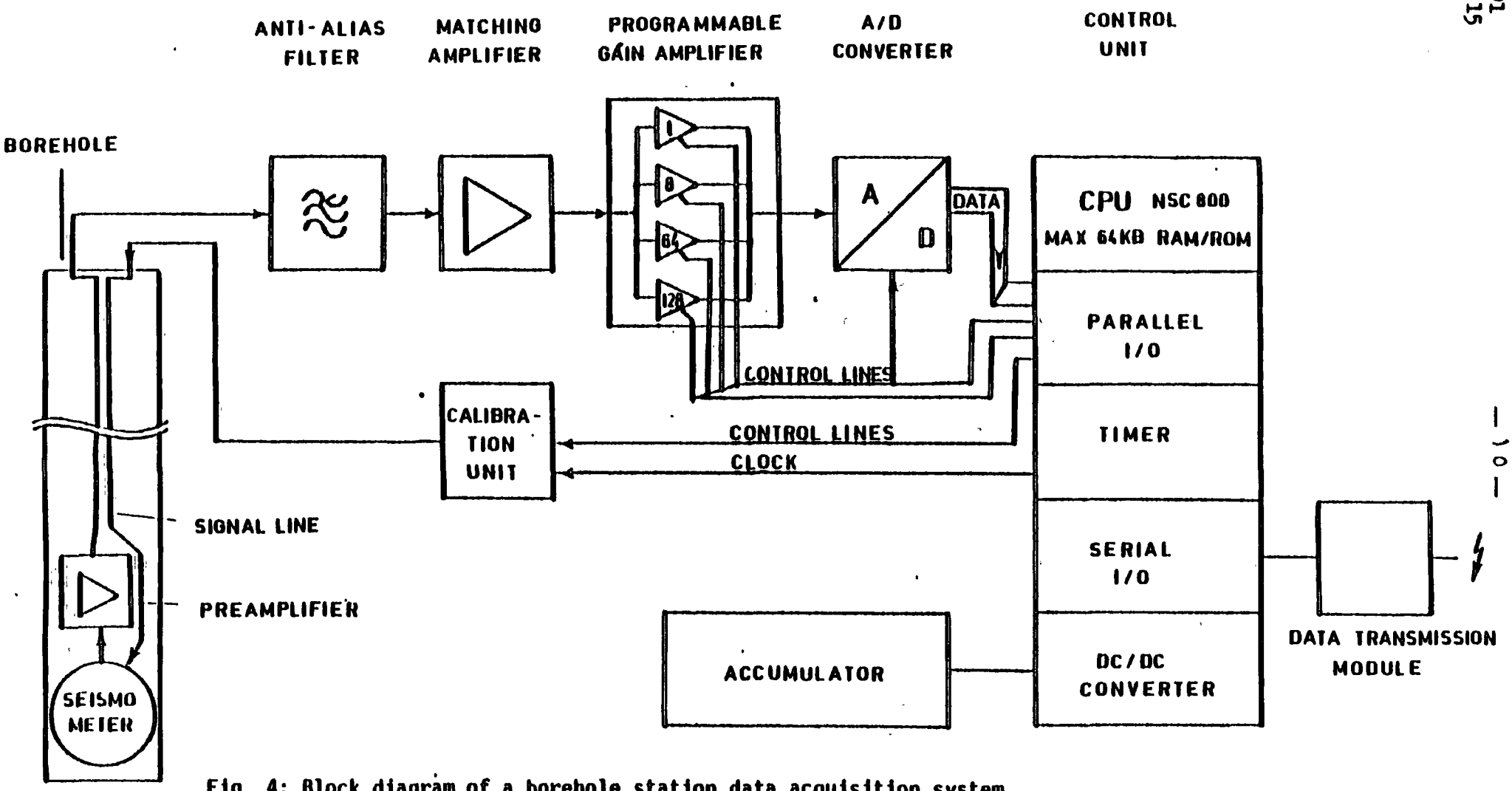

Fig. 4: Block diagram of a borehole station data acquisition system

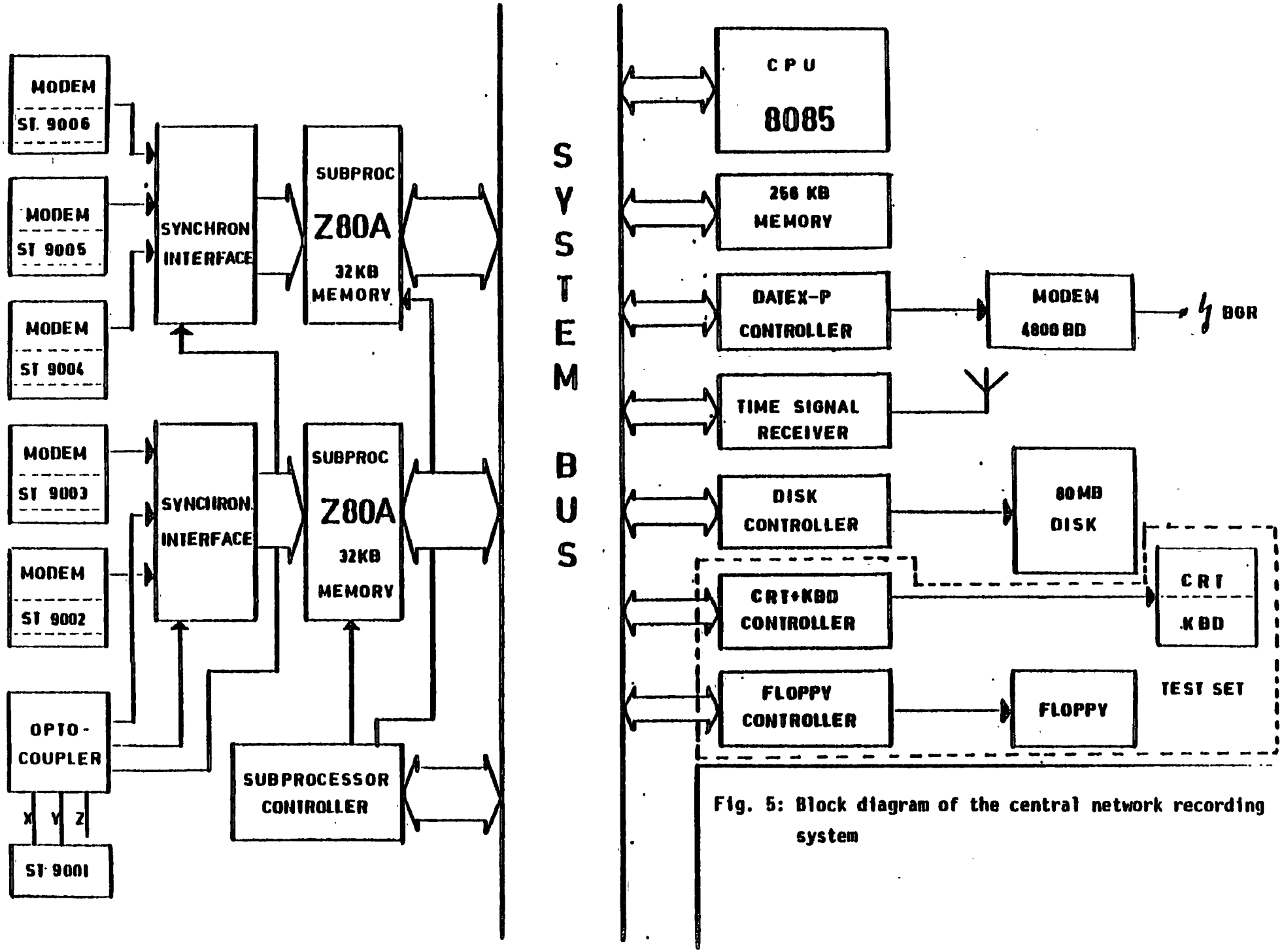

Fig. 5: Block diagram of the central network recording system

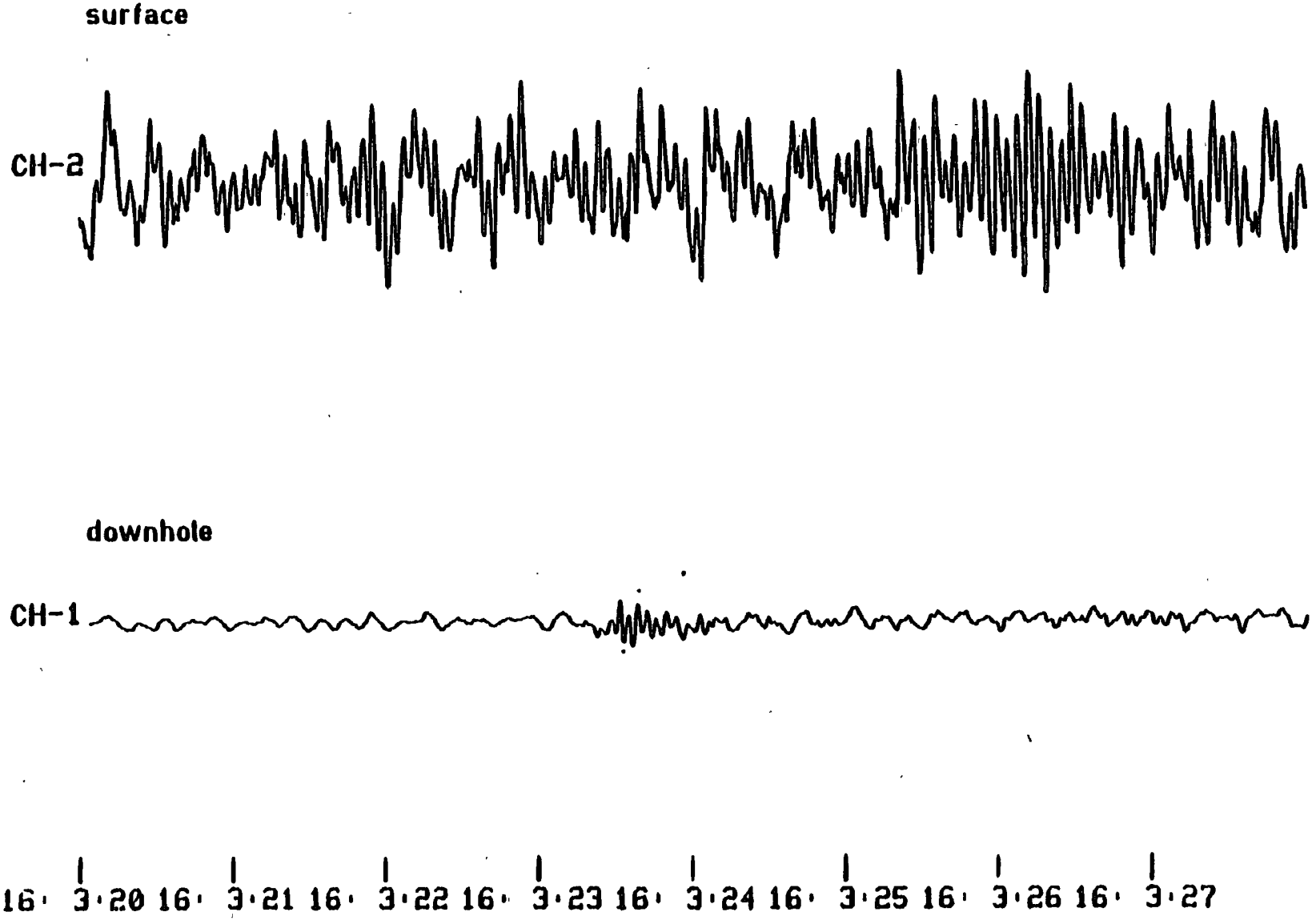

Fig. 6: Seismograms of a 2 kg explosion 10 km from the center borehole station of the local network recorded with MARK L4 vertical seismometers installed downhole and at the surface

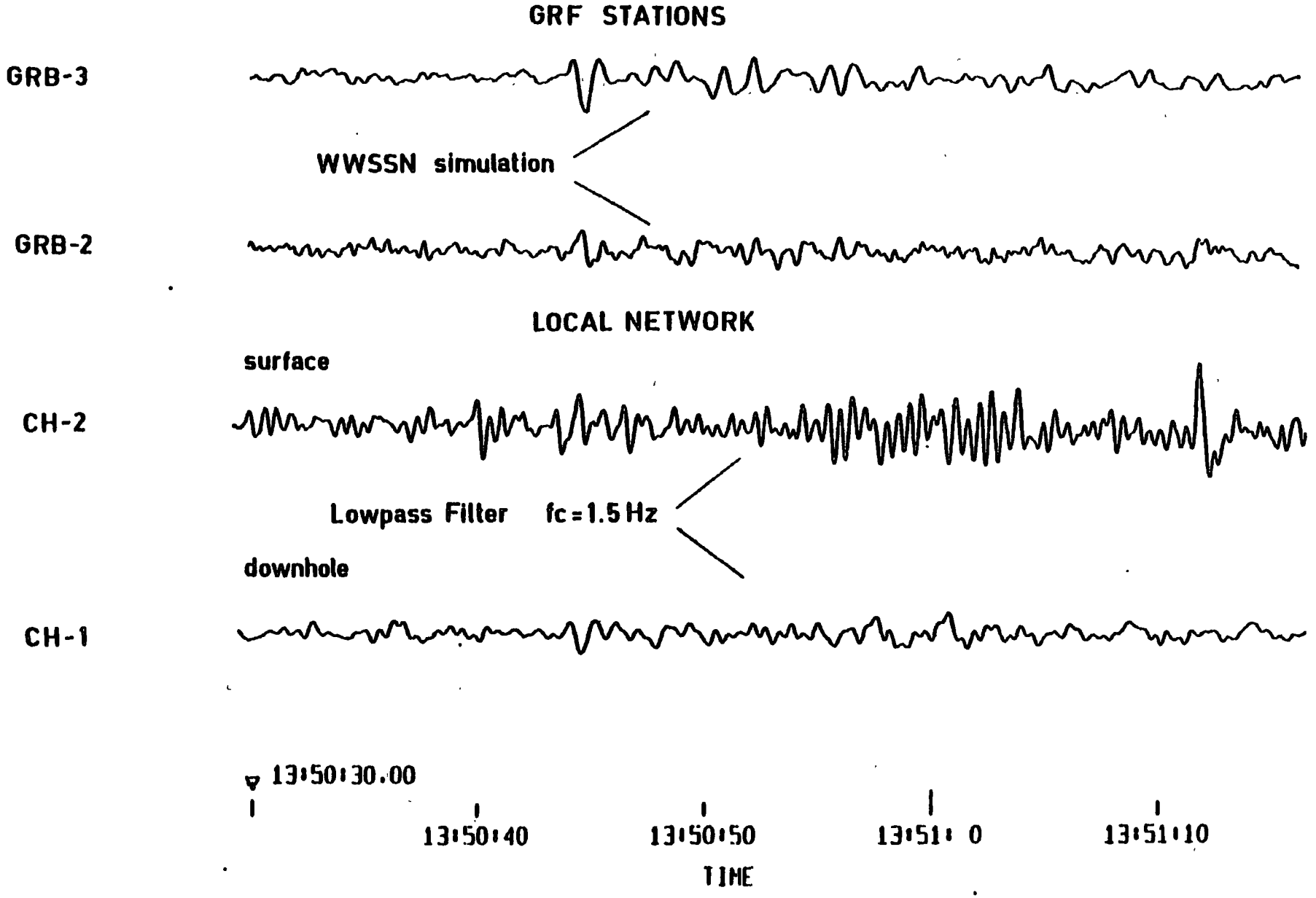

Fig. 7: Seismograms of a Kurile Islands event (mb = 5.2) recorded at two stations of the GRF array and at the center station of the local network with seismometers installed downhole and at the surface

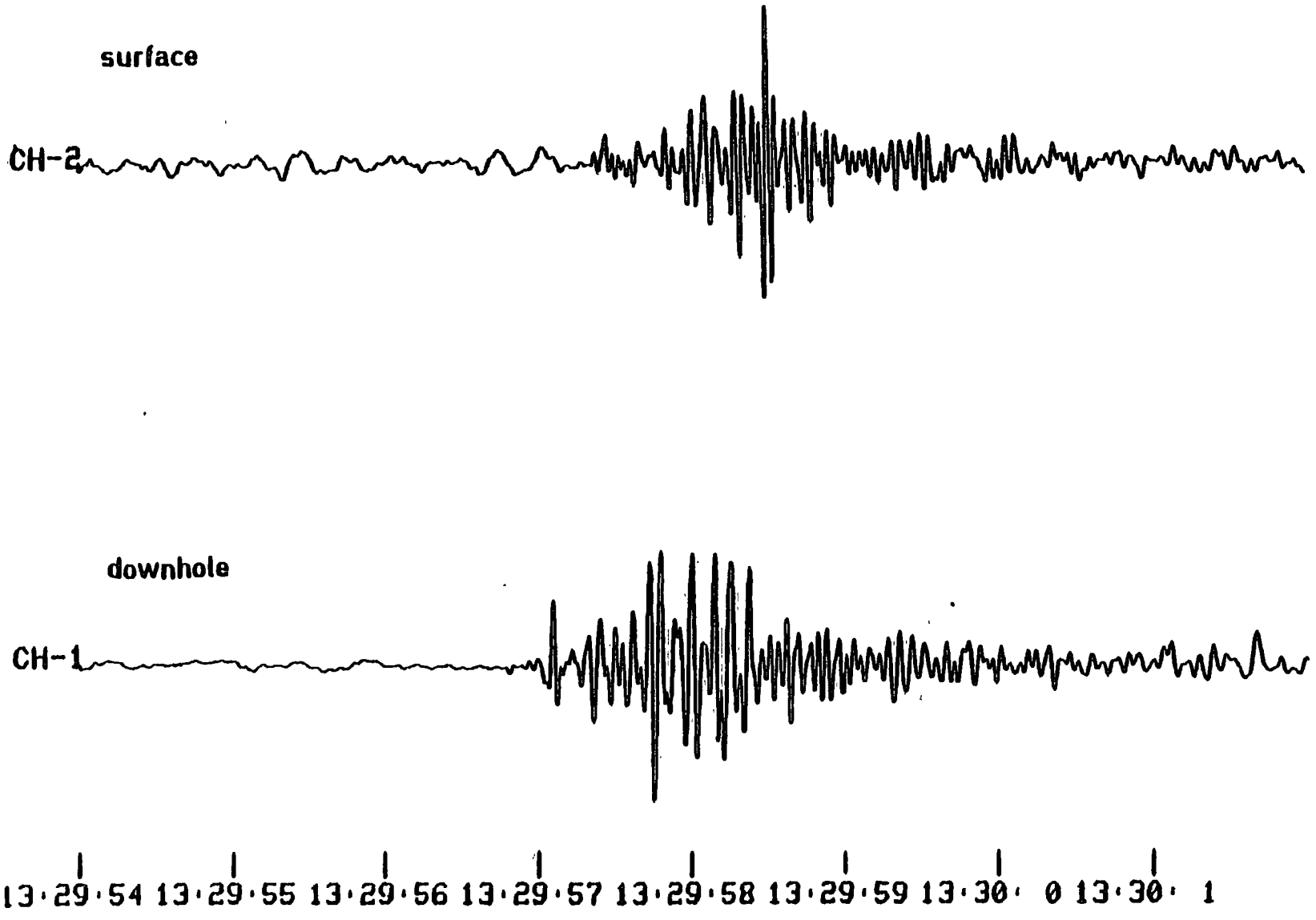

Fig. 8: Local shock recorded at the center station of the local network with seismometers installed downhole and at the surface