, 2015, **46**, 253–260
h ://d .d i. g/10.1071/EG14016

Accele a ing ei mic in e ola ion i h a g adien ojec ion me hod ba ed on igh f ame o e of c ele

Jingjie Cao[1,4] Yanfei Wang[2] Benfeng Wang[3]

[1]Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang, Hebei 050031, China.
[2]Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, PO Box 9825, Beijing 100029, China.
[3]State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China.
[4]Corresponding author. Email: cao18601861@163.com

Ab ac . Sei ic i e ai , a a efficie a eg f idi g eliable a efield , bef g a ge- cale c i g e . The a idi c ea e f da a ei high di e i ai e ai e i e high efficie e h d i e c ai ab de . M e h d ad he L_1 a a a i c ai f i i e a f ed d ai ; h e e , he L_1 i -diffe e iable a d g adie - e h d ca be a lied di ec . O he he ha d, e h d f c ai ed L_1 i i ai a a de e d he eg a i a i a a e e hich eed be ch e ca ef . I hi a e , a fa g adie jec i e h d f he h L_1 e i ed ba ed he igh f a e f he c e a f ha ca e c e he e h c i g . S e h L_1 f c i a e di c ed a d hei e ie a e a ed, he he H be f c i i ch e e lace he L_1 . The e f he ed e h d i ha he igh f a e f he c e a f i li ed i e he c ai efficie c . N e ical e e i e he ic a d eal da a de a e he a idi f he ed e h d hich ca be ed i a ge- cale c i g.

Ke o d : c e a f , g adie jec i e h d, i e e e , L_1 eg a i a i , a efield i e ai .

Recei ed 11 Feb a 2014, acce ed 24 J e 2014, bli hed li e 6 A g 2014

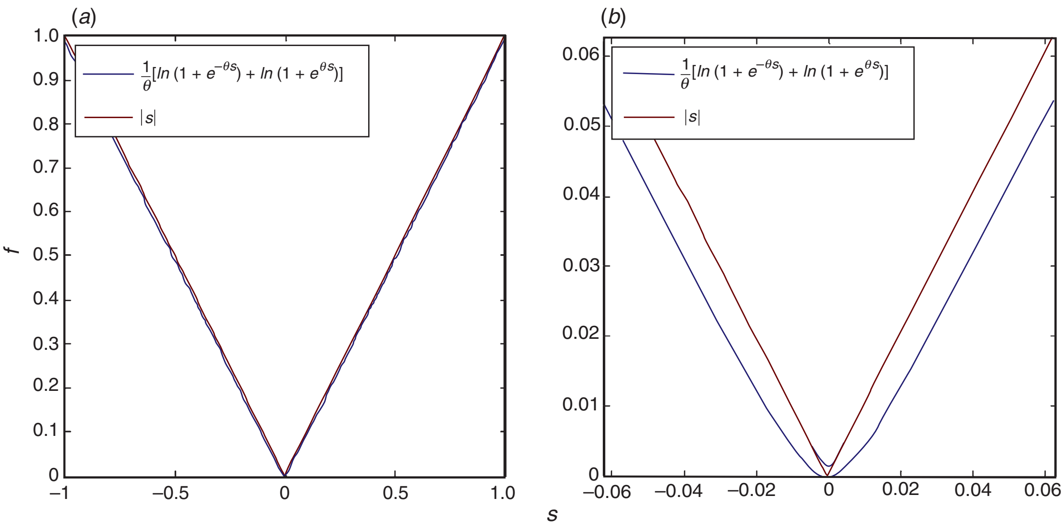
In od c ion

Sei ic da a ha i la e he N i –Sha a li g he e a b i g ha f al iaie a d de ei a e he e f ig ai , i i e i i ai , de- i i g, a d AVO a al i (Li , 2004; Naghi adeh a d Sacchi, 2010). Sei ic i e ai i a a id ech i e e ha ce a li g de i , b e i g a ial a ia i g a d i i g i agi g acc ac (S i , 1991; K ei e a d Sacchi, 2013), a d f a c cial e i he ei ic ce i g fl .

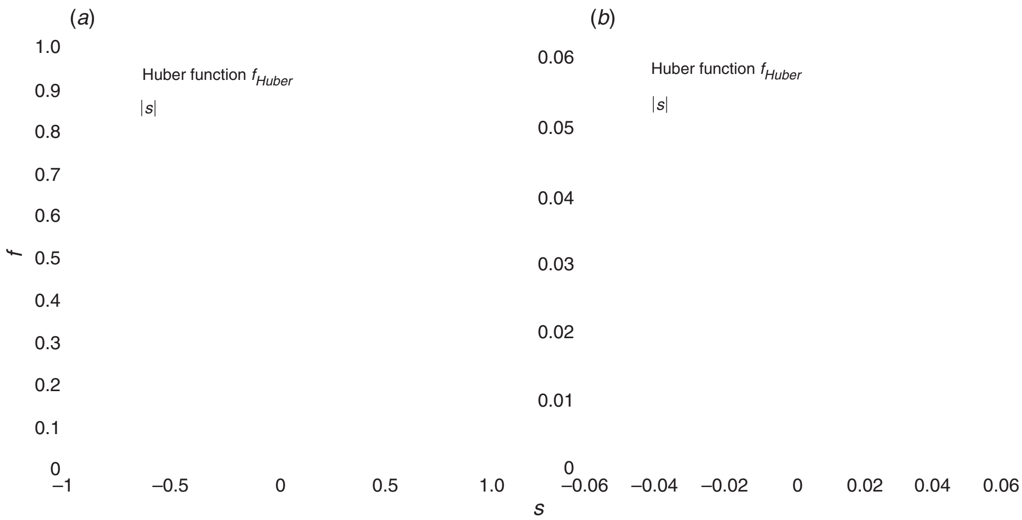
Ma i e ai e h d ha e bee ed i a decade , a d ig a ce i g ba ed e h d a e he ai ea a e e (D ij da e al., 1999; Li , 2004; Naghi adeh a d Sacchi, 2010; S i , 1991). A i a b a ch f he e h d i he a e a f ba ed e h d c bi ed i h a eg a i a i a eg . F hi e h d, ei ic i e ai i ea ed a a i e e e , a d ei ic e e a e a ed be a ei e a f ed d ai , ch a he F ie a f (Sacchi a d Ul ch, 1996; Sacchi e al., 1998; D ij da e al., 1999; X e al., 2005; Li , 2004), he li ea Rad a f (T ad e al., 2002). Sa i fac e l a e b ai ed b he e a f de he a i f li ea e e , hile f c ed e e , i h ld be deal i d b i d . The c e a f , a a l i- cale a d l i- di ec i al a f , ca e e e c ed e e effec i el a d i ca a id he a i f li ea e e (He a a d He e fe , 2008). Rece l , ei ic da a i e ai e h d ba ed a i / e c le i ha e bee ed (Ya g e al., 2012; K ei e a d Sacchi, 2012 , 2012 , 2013).

A a a ge- cale c i g e , ei ic da a i e ai e i e efficie e h d ed ce he i c ea i g c ai al c . Ab a a d Kabi (2006) i d ced he jec i c e e (POCS) e h d i eg la ei ic i e ai . Z a je a d Sacchi (2007) ad ed i e ai e- e eigh ed ea - a e f i e ai . The i e a i e f h e h ldi g (IST) e h d a i d ced b He a a d He e fe (2008). A i e f he IST e h d, he fa i e a i e f h e h ldi g al g i h (FISTA), a ece ed al e ia e he c ai al c f he IST e h d. The ec al jec ed g adie f L_1 i i i ai (SPGL1) e h d ca b ai b a e l i f L_1 c ai e (a de Be g a d F ied a de , 2009). The e e h d , h e e , a e i e c i g f he h ge ei ic da a e , he ef e e efficie e h d h ld be e ea ched.

All he ab e e h d e he L_1 ea e he a i f l i , b he L_1 i -diffe e iable a igi , a d g adie - e e h d ca be a lied di ec l . Re ea che i e d l e he c ai ed L_1 eg a i a i , h e e , he eg a i a i a a e e eed be ch e ca ef ll b ai a e l i . I de e c e he -diffe e iabi f he L_1 , e h f c i a e ed a i a e i , he he g adie -ba ed e h d



F . 2. ( ) $_\theta$( ) i h $\theta = 10\,000$. ( ) Mag ified ie f ( ).



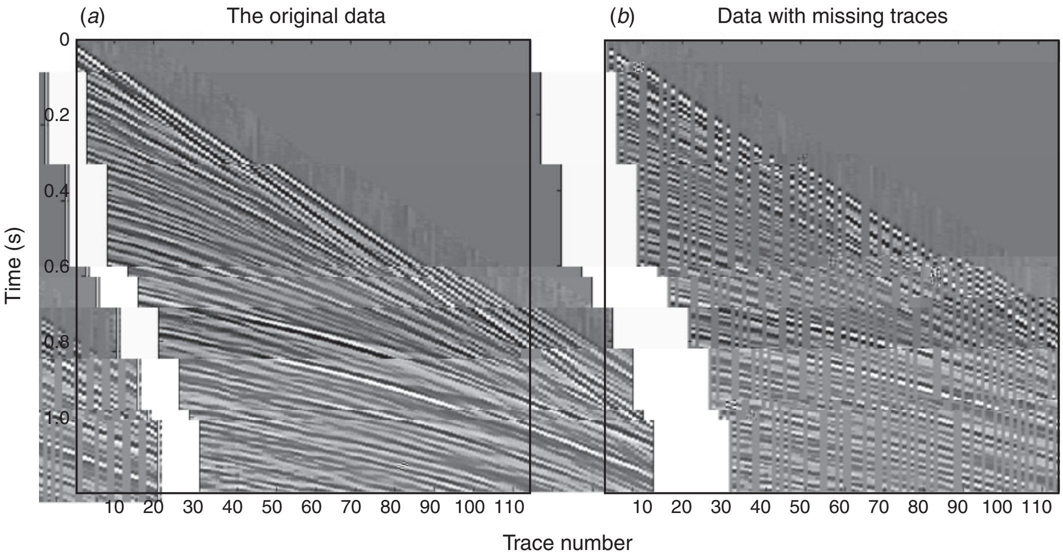


Fig. 4. ( ) O igi al h da a. ( ) Sa led h da a.

Tab e 1. C a L$_1$, FISTA a d SPGL1 e d da a.

	S h L$_1$	FISTA	SPGL1
CPU i e ( )	56	73	156
SNR (db)	10.4975	9.8556	9.9523
Re a i e e	0.2986	0.3215	0.3180

ca be a lied a d he eg la i a i a a ee i e i ed ba ed he g adie jec i e h d i h h L$_1$ a i a i .

I hi a e, e h L$_1$ f c i a e a a ed fi , he he H be f c i i ch e a i a e he L$_1$. A c e-ba ed fa g adie jec i e h d i ed l e he e a i c ai ed h L$_1$ i i a i . The e f he ed e h d i he e f he igh f a e e f he c e e a f ed ce he c a i a c . N e ica e a le he ic a d ea ei ic da a de a e he a idi f he ed e h d.

S a e o imi a ion model of ei mic in e ola ion

Mathematical model of seismic sparse interpolation

Sei ic i e la i ca be ea ed a a i e e b e , a d he f a d b e ca be de ed a

$$\Phi = ,\tag{1}$$

he e Φ de e he a li g ce i g, i he c le e ei ic da a, a d i he a led da a. The e a e i fi i e a l i he e ica l , b e ca i ie e i f a i fi d he l i i h h ica ea i g. S a i f he ei ic da a i a f ed d ai i c l ed beca e ei ic e e ca be a e e ed b e a f . F ei ic ce i g, e fa ilia a f a e he F ie a f (Li , 2004; Z a je a d Sacchi, 2007), he li ea Rad a f (T ad e al., 2002), he a ab lic Rad a f (Da che, 1990) a d he c e a f (He a a d He e fe , 2008). Rece l , Ga ia bea ha e bee ad ed f ei ic da a dec i i (Li e al.,

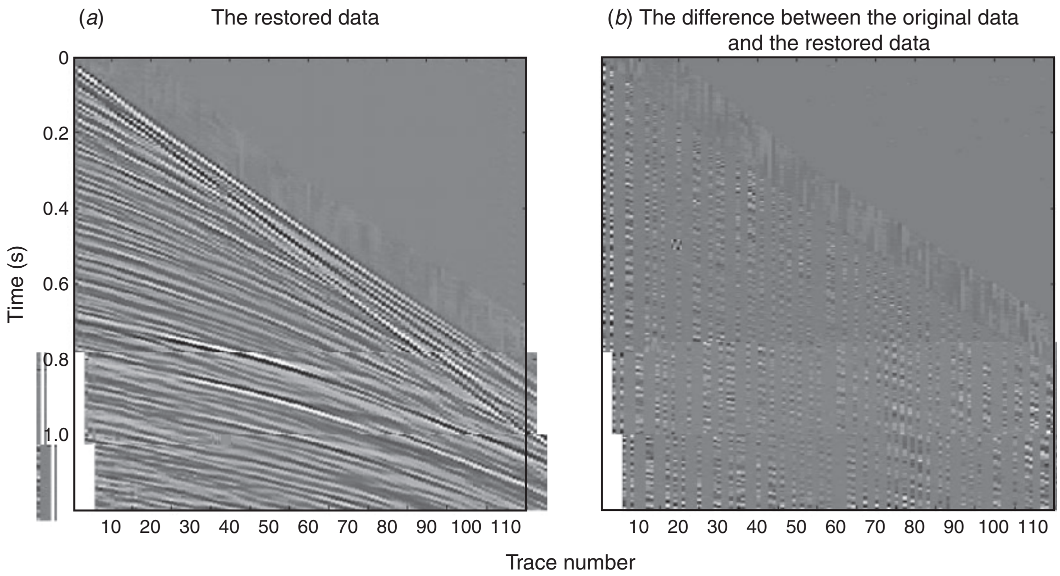


Fig. 5. ( ) I e la i f h da a b h L$_1$ e h d. ( ) Diffe e ce be ee ( ) a d igi al h da a.

2013; Wa g e al., 2013). If =Ψ i a e, he e Ψ i a h g al a f igh f a e, e a i 1 ca be cha ged

$$\Phi \quad = \Phi\Psi^{*} \quad = \quad = \, , \tag{2}$$

he e Ψ^{*} i he He i ia a e f Ψ a d $=\Phi\Psi^{*}$. Ma e h d ha e bee de e ed fi d a e l i e a i 2, ch a g eed al g i h (Ma l a a d Zha g, 1993), c e i i a i (Bec a d Teb lle, 2009; a de Be g a d F ied la de, 2009; Che e al., 1998) a d -c e i i a i (M hi a i e al., 2009). C e i i a i e h d i h he e ica ll ig j ifica i a e ia ble f la ge- ca le c ai (Ca e al., 2012; Che e al., 1998). The c l ed c e i i a i i he ba i i ble :

$$\text{i} \quad \| \quad \|_{1} \quad . \, . \quad = \, . \, , \tag{3}$$

hich ca be a f ed i li ea i i a i a d l ed b he i e i i e h d (Che e al., 1998; Ca de a d Ta , 2005). Beca e he bjec i e f ci f e a i 3 i -diffe e iable a igi , i ca be l ed b he c j ga e g adie e h d a d Ne - e e h d di ec l . He ce, e ea che ha e ed l e he c ai ed f f e a i 3:

$$\text{i} \quad \| \quad - \, . \, \|_{2}^{2} + \lambda \| \quad \|_{1}, \tag{4}$$

i g f e a le he IST a d FISTA e h d , b he eg la i a i a a e e λ h ld be adj ed ca ef ll . A he a eg e c e he -diffe e iabili f e a i 3 i e laci g he L_1 b i h a i a i , hich ca be ca lled he h L_1 e h d. Th , e a i 3 ca be cha ged i

$$\text{i} \quad (\,) \, . \, . \quad = \, . \, , \tag{5}$$

he e ( ) i a h a i a i f he L_1 . I he f ll i g, e h L_1 f ci a e di c ed a d a al ed.

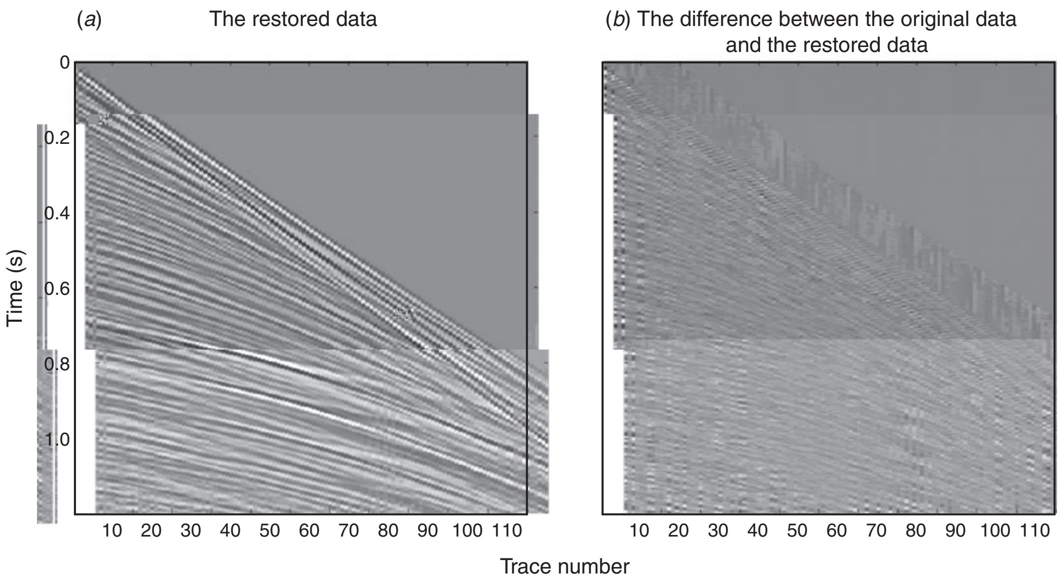


Fig. 6. ( ) I e la i f h da a b FISTA e h d. ( ) Diffe e ce be ee ( ) a d igi al h da a.

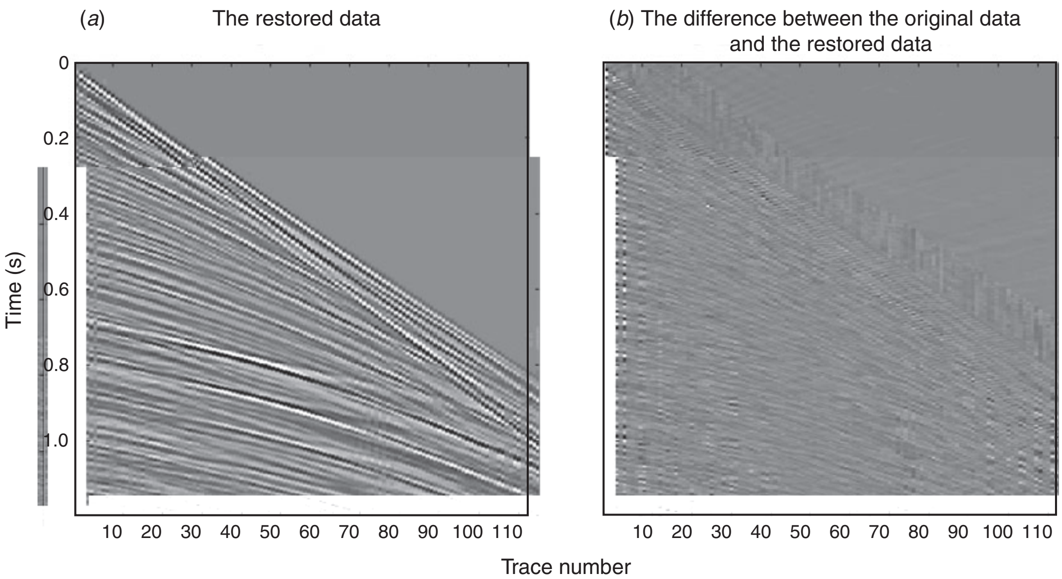


Fig. 7. ( ) I e la i f h da a b SPGL1 e h d. ( ) Diffe e ce be ee ( ) a d igi al h da a.

Comparison of smooth L_1 norm functions

S h L_1 f c i a e h a i ai f he L_1 hich a e e a ab e a d ca be i e a ( ) $= \sum_{=1}$ ( ), e j eed a a e he 1D ca e ( ), he e i a ca a . The fi f c i e di c i

$$_{\varepsilon}( ) = \sqrt{\ ^2 + \varepsilon} \quad (6)$$

A ac i , c e a d diffe e ia f c i (Wa g e a ., 2011), i a i a e e a he ε i e a . Fig e 1 hi f c i i h $\varepsilon = 0.0001$. H e e, i i e e ac a he igi a i ; a ag ified ie (Fig e 1) h he deficie c q ea . Thi a affec he a i f i .

The ec d f c i i

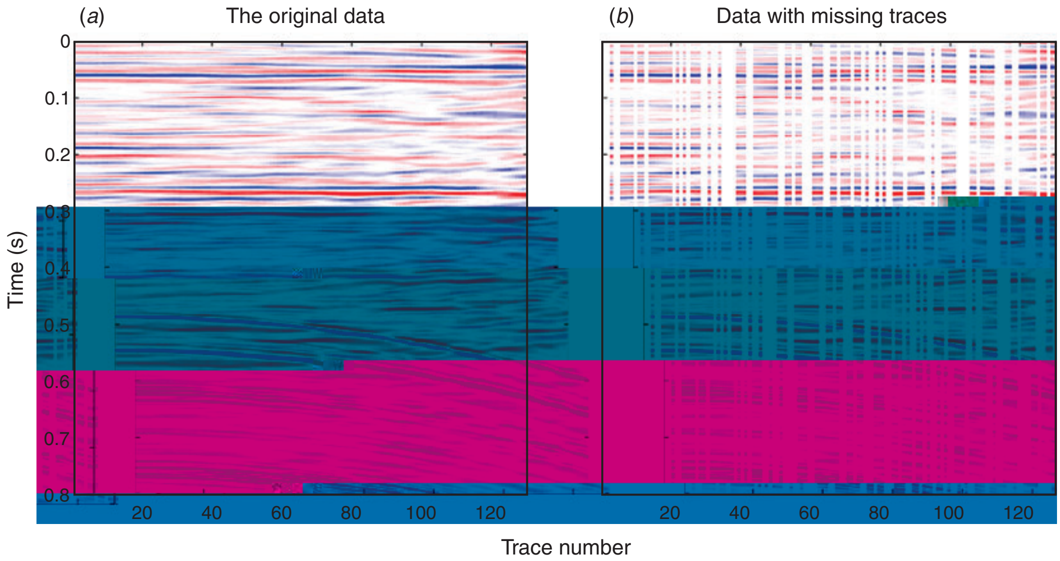
$$_{\theta}( ) = \frac{1}{\theta}[\ln(1 + \ ^{-\theta}\ ) + \ln(1 + \ ^{\theta}\ )], \quad (7)$$

hich a i a e e a he θ i a ge e gh. Thi f c i i c e a d diffe e ia (Che a d Ma ga a ia , 1996). A f i i gi e i Fig e 2 i h $\theta = 10\,000$. Fig e 2 i a ag ified ie f Fig e 2 . A i h Fig e 1 , i i a - e a he igi a i .

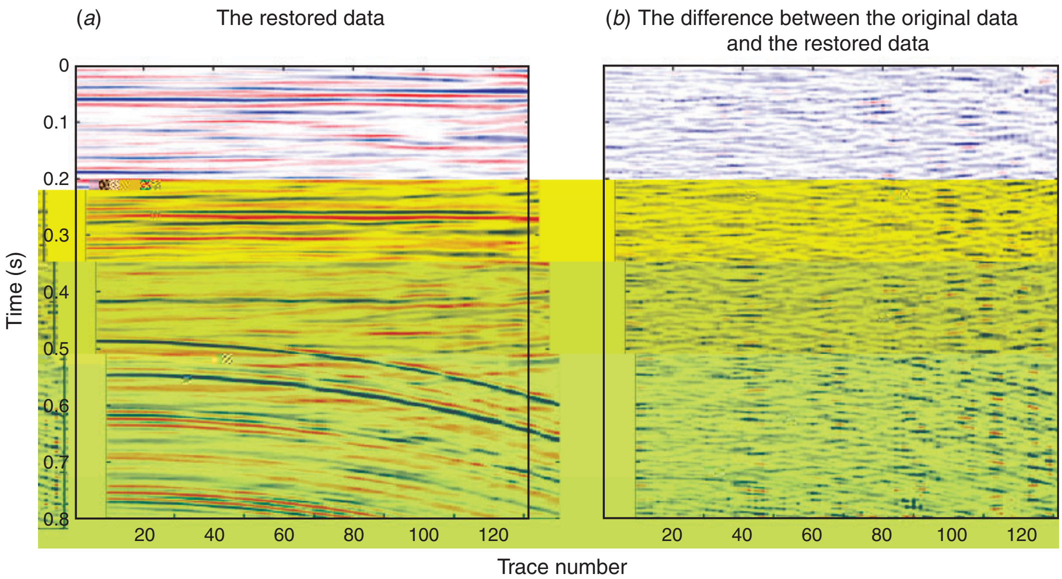
A he fa ia f c i i he H be f c i :

$$_{\mathrm{H\ be}}( ) = \begin{cases} \ ^2/2\ , & \text{if } |\ | \le \\ |\ | - \ /2, & \text{e e } |\ | > \end{cases} \quad (8)$$

I e ai 8, i ca ed a e - a a e e . The H be f c i i h e e he e a d a ache e e q a he e (B be a d Ne e h, 2007). I i ed i Fig e 3 i h $= 0.0001$; a ag ified ie h ha i e a e e ac a he igi a i . The H be f c i i a h b id f he L_1 a d he L_2 ; i beha e i e he L_2 f a a d i e he L_1 f a ge . The h a i i f L_2 L_1 beha i i c ed b . H be f c i a e e i ge h ica i e e b e ; Sacchi ed he Ca ch f c i a d H be f c i f dec i ge a e effec i i e ie (Sacchi, 1997). He e, e a e i a a ea e e ge a e i f ei ic i e ai .



Fi . 8. ( ) O igi a ac da a. ( ) Sa ed ac da a.



Fi . 9. ( ) I e ai f ac da a b h L_1 e h d. ( ) Diffe e ce be ee ( ) a d igi a ac da a.

Ba ed he ab e di c i , e c q i ca be ade: (1) A e - a a e e e i i each f c i c l he a i a i , a d he a e al diffe e ial; (2) ε( ) a d θ( ) a e e ac l e a he igi al i , hile $_{H\ be}$( ) e al e a he igi al i a d ca a ach he L_1 be e f gi e e a a e e . The ef e, $_{H\ be}$( ) i ch e a he L_1 a i a i . Re i i g e ai 5 i g he $_{H\ be}$( ) c ai iq d

$$i \quad ( ) := \sum_{=1} \ _{H\ be}( ) \quad . . \quad = . . \tag{9}$$

E ai 9 i al a a f ed i a c ai l e , i hich he eg la i a i fac h ld be ch e ca ef ll . I de a id he eg la i a i fac , he g adie jec i e h d, hich i a e efficie a eg , i ed l e he c ai ed i i a i .

Gradient projection method for smooth L_1 norm optimisation

Si ce e ai 2 i de de e i ed, = = i a c e e, h e ai 9 ca be l ed b a c e e jec i e h d. A g adie jec i al g i h f e ai 9 i de ig a ed a f ll :

Gi e he a i ie a i , he a a e e = 0.0001, = 0, a d he i i ial l i $_0$.

S l e he g adie ∇ ( ). If he i g c ie i i a i fied, g S e 4; he i e, gi e a ial ie a i $_{+1} = -\mu\nabla$ ( ), he e μ i he e l e g h (hich ca be l ed b bac - aci g e h d).

U da e he i e a i i : $_{+1} = _{+1} -$ ($_{+1}$) (($_{+1}$) i.e. jec i = =), l e = $_{+1}$, = + 1, a d e S e 2.

Gi e he fi al l i : = .

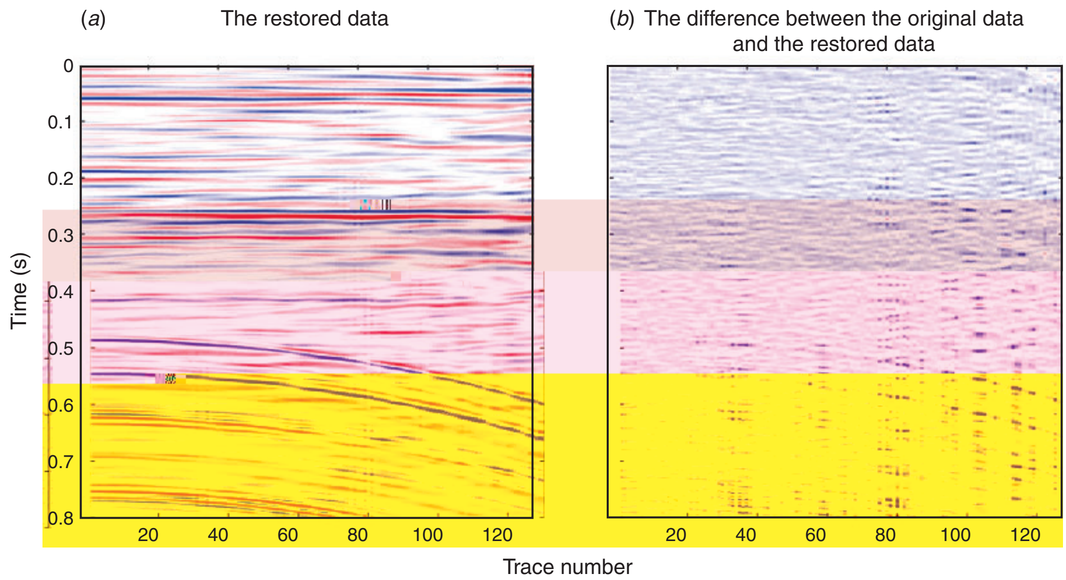


Fig. 10. ( ) I e la i f ac da a b FISTA e h d. ( ) Diffe e ce be ee ( ) a d igi al ac da a.

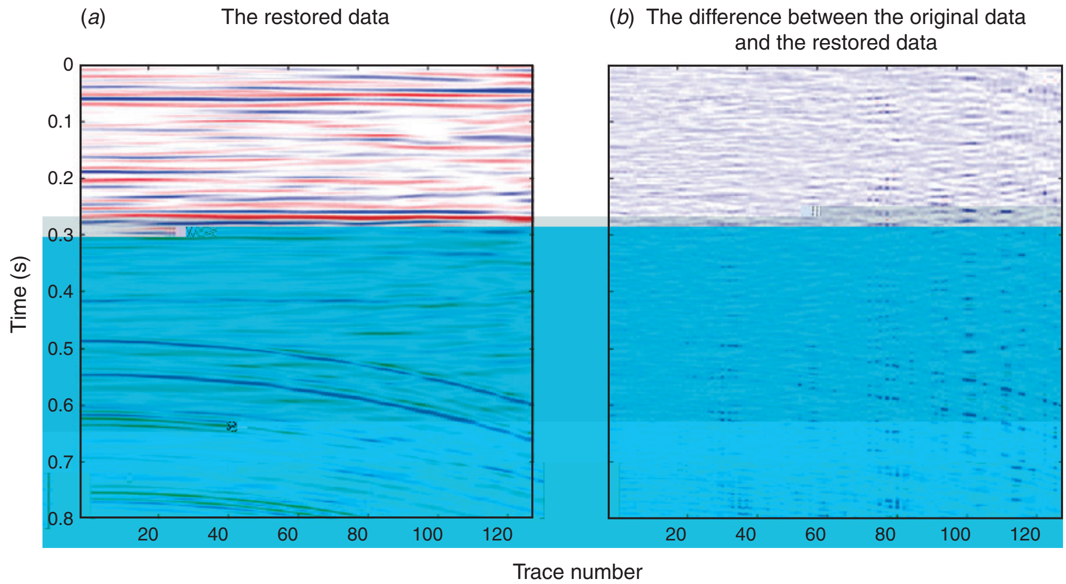


Fig. 11. ( ) I e la i f ac da a b SPGL1 e h d. ( ) Diffe e ce be ee ( ) a d igi al ac da a.

Tab e 2. C a L₁, FISTA a d SPGL1 e d - ac da a

	S h L_1	FISTA	SPGL1
CPU i e ( )	56	80	163
SNR (db)	22.1805	22.7094	22.9518
Re a i e e	0.0778	0.0732	0.0712

We ch e he i g c i e i a he di c e a c i ci e (Wa g e a ., 2011). The i i ia i i = *, he e i he He i ia a e f .

The ai a i f hi a g i h a e f c ed S e 3, beca e he jec i i S e 3, (+1) = *(*)⁻¹ (+1 −), c ai a c e a f , a i e e c e a d a a ge- ca e a i i e i . H e e , if he i e i f * ca be i ed, he a g i h e ha ce c a i efficie c ig ifica . A c e a f a he a e a f i e ec ed he e, beca e i i a e c e a e a f b a a igh f a e, ba ed hich * ca be i ified he ide if a i . The , jec i ca be i ified (+1) = *(+1 −). P e ie f he c e a f be i d ced b ief i he f i g ec i . Ca e a . (2012) ed a h L₀ e h d f ei ic i e a i ; h e e , he e a e e e i e a i i he h L₀ e h d, a d a a e e f h L₀ f c i a d i e a i h d be cha ged ca ef e e ge i g ca i . The g adie jec i e h d e e ed ab e eed e e e i e a i a d he e- a a e e f he H be f c i i fi ed a d eed be adj ed.

The curvelet transform

Beca e f he e c e a ee e i abi i f c e f ei ic da a, i ha ecei ed e e i e a ica i i ei ic ce i g. A a a i ic, i-di ec i a , i- ca e a d ca f a e (Ca de , 2006; Ca de a d D h , 2004), he c e a f ha bee ed be he a e a g he e i i g a f f ei ic da a (He a a d He e fe , 2008). The di c e e f f c e ca be i e a = Ψ , he e i a ec de i g he di c e e e f c e c efficie , i he di c e e f f he da a, a d Ψ i he c e a f a i . Be ide he e c e c e i f ei ic da a, he c e a f c ea e a igh f a e b a i g, hich ca e fec ec c da a af e dec i i b a i g he a e f he c e a f ; ha i , = Ψ*Ψ f a a bi a fi i e-e e g ec (He a a d He e fe , 2008), h Ψ*Ψ = I. Ba ed hi e , * = ΦΨ*ΨΦ = I. Thi e ca he be ed acc e a e he a g i h ig ifica .

N me ical e am le

The e f a ce f he ed e h d i e a a ed ea da a e ei i e , h gh ee a e e f ed ca a h i ia e . A h da a e ei e i gi e a h ei i abi i f fie d da a, he a ica i - ac ei ic da a a e if he a idi f he ed e h d. T f he de a e he efficie c f he ed e h d, c a i a e c d c ed i h he FISTA a d SPGL1 e h d .

Shot data experiment

A h da a i e a i i i e e ed e he abi i f he ed h L₁ e h d. The ecei e i e a i 12.5 i he h ga he i h a 2 i e a i g i e a . The da a e c ai 115 ace i h 600 i e a e e ace. The i c e e ac i i i a i a ed b a a d a e f 69 ace . The igi a da a i gi e i Fig e 4 , a d he a ed da a i gi e i Fig e 4 . We ade e e i e b i g he h L₁, FISTA (Bec a d Teb e, 2009) a d SPGL1 e h d (a de Be g a d F ied a de , 2009). S e a a e e i each a g i h a e i ed be : he a - i e a i be i 15 f he h L₁ e h d, 20 f FISTA, a d 30 f SPGL1. Ba ed he ab e a a e e , he e e h d ca b ai i i a e i h ch diffe e CPU i e . The CPU i e, ig a - - i e a i (SNR) a d a i e e a e i ed i Tab e 1, he e he SNR i defi ed a :

$$= 10 \log_{10} \frac{\| \,_{ig} \|_2^2}{\| \,_{ig} - \,_{e} \|_2^2}$$

he e ig i he igi a da a a d e i he e ed da a, a d he a i e e i defi ed a

$$\frac{\| \,_{ig} - \,_{e} \|_2}{\| \,_{ig} \|_2}$$

The i e a i e b he h L₁ i gi e i Fig e 5 a d he diffe e ce be ee i a d he igi a da a i h i Fig e 5 ; e f he FISTA e h d a d i diffe e ce f he igi a da a a e h i Fig e 6; i e a i i g he SPGL1 e h d a d he diffe e ce be ee he e a i a d he igi a da a a e h i Fig e 7. F Tab e 1, e ca c c de ha he h L₁ e h d i fa e ha FISTA a d a i a e hi d f he CPU i e f he SPGL1 e h d.

Post-stack seismic data experiment

We f he e a i e he efficie c f he h L₁ e h d i h - ac da a. A - ac ec i i gi e i Fig e 8 hich c i f 130 ace i h a ace i e a f 25 a d 401 i e a e- ace i h 2 a he i ei e a . The b a ed ga he i h i Fig e 8 i h 40% f he igi a ace a d d ed. The a i i e a i be f he h L₁ e h d i 20; he i e a i f he h L₁ e h d a d he diffe e ce be ee he i e a i a d he igi a da a a e di a ed i Fig e 9, hi e he i e a i e i g he FISTA i h a a i i e a i f 30 a d i diffe e ce f he igi a da a a e h i Fig e 10. I e a i ba ed SPGL1 i h a a i i e a i f 50 a d i diffe e ce f he igi a da a a e h i Fig e 11. The CPU i e, SNR a d a i e e f he e e h d a e h i Tab e 2. The e e a h ha , he he i e a i e a e a he a e, he h L₁ e h d i fa e ha he FISTA e h d a d a i a e hi d f he CPU i e f he SPGL1 e h d. Th , he ed e h d i efficie a d ca ed ce he c a i a i e a d c ig ifica . We a e f ed e e a e a e a d a f he ca e if he efficie c f he h L₁ e h d; he e a e i ed he e beca e f he i i ed ace.

Concl ion

I hi a e , a fa g adie jec i e h d f h L₁ i i a i ba ed igh f a e e f c e i ed. S e h f c i a L₁ a i a i a e e e ed a d a ed, he he H be f c i i ch e a he be a i a i he L₁ a g h e i ed. The igh f a e e i h b d 1 f he c e a f i ed acc e a e he e h d. The ed e h d e c e he -diffe e iabi i f he L₁ a d d e eed ch e a a ica eg a i a i a a e e . C a i f he ed e h d i h e a e- f- he-a a e e h d , ch a he FISTA a d SPGL1 e h d , b e ei e i dica e ha he ed e h d i he fa e a g he h ee e h d. The ef e, i ca be ed i e he efficie c f ei ic ce i g, e eciall f high di e i al ei ic da a i e la i . The ed e h d i ba ed he c le a f bai he i e la ed ei ic da a hich i a ed da c a f a d i i e c i g, he ef e i able f la ge ga . F e e ea ch e efficie a e a f (T ad, 2009), e eciall efficie high di e i al a f , i e i ed. The L_1 c ai a d i h a i ai a e di c ed i hi a e a d i i f d be he be a e c ai . The ef e, he a e c ai , l i e he L (0 < < 1) h ld be i e iga ed f he .

Ackno ledgmen

We ha P fe M. D. Sacchi a d a a efe ee f hel f l gge i a d hei edi i g f he a e. We al ld li e ha he a h f C l ab a d S a c f a i g hei c de a ailable. Thi i ed b Na i al Na al Scie ce F da i f Chi a de g a be 41204075, 41325016 a d 11271349, a d Na al Scie ce F da i f Hebei P i ce de g a be D2014403007.

Refe ence

Ab a, R., a d Kabi , N., 2006, 3D i e la i fi eg la da a i h a POCS al g i h : , **71**, E91–E97. d i:10.1190/1.2356088

Bec , A., a d Teb lle, M., 2009, A fa i e a i e h i -h e h ldi g al g i h f li ea i e e ble : I I , , **2**, 183–202. d i:10.1137/080716542

B be, K., a d Ne e h, T., 2007, Fa li e ea che f he b l i f li ea e i he h b id a d H be : , **72**, A13–A17. d i:10.1190/1.2431639

Ca de , E., 2006, C e i e a li g: , I , : E ea Ma he a ical S cie P bli hi g H e, 33–52.

Ca de , E., a d D h , D., 2004, Ne igh f a e f c le e a d i al e e e ai f bjec i h iece i e i g la i ie : , **57**, 219–266. d i:10.1002/c a.10116

Ca de , E., a d Ta , T., 2005, Dec di g b li ea g a i g: I I , **51**, 4203–4215. d i:10.1109/TIT.2005.858979

Ca , J., Wa g, Y., a d Ya g, C., 2012, Sei ic da a e ai ba ed c e i e e i g i g eg la i a i a d e - a e i i a i : , **55**, 239–251. d i:10.1002/cjg2.1718

Che , C., a d Ma ga a ia , O., 1996, A q a f hi g f c i f li ea a d i ed c le e ai ble : , **5**, 97–138. d i:10.1007/BF00249052

Che , S., D h , D., a d Sa de , M., 1998, A ic dec i i b bai i : I fi , **20**, 33–61. d i:10.1137/S1064827596304010

Da che, G., 1990, S a ial i e la i i g a fa a ab l ic a f : 60 h A al I e a i al Mee i g, SEG, E a ded Ab ac , 1647–1650.

D ij da , A., Sch e ille, M., a d Hi di , C., 1999, Rec c i f ba d-li i ed ig al , i eg la l a led al g e a ial di ec i : , **64**, 524–538. d i:10.1190/1.1444559

He a , F., a d He e fe , G., 2008, N - a a e ic ei ic da a ec e i h c le f a e : I , **173**, 233–248. d i:10.1111/j.1365-246X.2007.03698.

K ei e , N., a d Sacchi, M., 2012 , A e highe - de i g la al e dec i i (HOSVD) f e- ac ei ic da a i e- ed c i a d i e la i : , **77**, V113–V122. d i:10.1190/ge 2011-0399.1

K ei e , N., a d Sacchi, M., 2012 , Rec c i f ei ic da a ia e c le i : I , , , 29–32.

K ei e , N., a d Sacchi, M., 2013, Te c le i ba ed q ea i i i ai f 5D ei ic da a ec c i : , **78**, V273–V284. d i:10.1190/ge 2013-0022.1

Li , B., 2004, M l i-di e i al ec c i f ei ic da a: Ph.D. he i , U i e i f Alb e a.

Li , P., Wa g, Y. F., Ya g, M. M., a d Ya g, C. C., 2013, Sei ic da a dec i i i g a e Ga ia bea : , **56**, 3887–3895.

Malla, S., a d Zha g, Z., 1993, Ma chi g i h i e-f e e c dic i a ie : I , , **41**, 3397–3415. d i:10.1109/78.258082

M hi a i, H., Babaie-Zadeh, M., a d J e , C., 2009, A fa a ach f e-c le e a e dec i i ba ed hed 0 : I , , **57**, 289–301. d i:10.1109/TSP.2008.2007606

Naghi adeh, M., a d Sacchi, M., 2010, Be d al ia hie a chical ca le c le e i e la i f eg la a d i eg la al a led ei ic da a: , **75**, WB189–WB202. d i:10.1190/1.3509468

Sacchi, M., 1997, Re- eigh i g a egie i ei ic dec l i : I , **129**, 651–656. d i:10.1111/j.1365-246X.1997. b04500.

Sacchi, M. D., a d Ul ch, T. J., 1996, E i a i f he di c e e F ie a f , a li ea i e i a ach: , **61**, 1128–1136. d i:10.1190/1.1444033

Sacchi, M., Ul ch, T., a d Wal e , C., 1998, I e la i a d e a la i i g a high e l i di c e e F ie a f : I , , **46**, 31–38. d i:10.1109/78.651165

S i , S., 1991, Sei ic ace i e la i i he F-X d ai : , **56**, 785–794. d i:10.1190/1.1443096

T ad, D., 2009, Fi e-di e i al i e la i : ec e i g f ac i i i c ai : , **74**, V123–V132. d i:10.1190/1.3245216

T ad, D., Ul ch, T., a d Sacchi, M., 2002, Acc a e i e la i i h high-e l i i e- a ia Rad a f : , **67**, 644–656. d i:10.1190/1.1468626

a de Be g, E., a d F ied la de , M. P., 2009, P bi g he Pa e f ie f bai i l i : I fi , , **31**, 890–912. d i:10.1137/080714488

Wa g, Y., Ca , J., a d Ya g, C., 2011, Rec e f ei ic a efield ba ed c e i e e i g b a l1- c ai ed egi e h d a d he iece i e a d b- a li g: I , **187**, 199–213. d i:10.1111/j.1365-246X.2011.05130.

Wa g, Y, Li , P, Li, Z, S , T, Ya g, C, a d Zhe g, Q, 2013, Da a eg la i a i i g Ga ia bea dec i i a d a e : I - I , **21**, 1–23. d i:10.1515/ji -2012-0030

X , S., Zha g, Y., Pha , D., a d La ba e, G., 2005, A i-l ea age F ie a f f ei ic da a eg la i a i : , **70**, V87–V95. d i:10.1190/1.1993713

Ya g, Y., Ma, J., a d O he , S., 2012, Sei ic da a ec c i ia a i c le i : UCLA CAM Re , 12–14.

Z a je , P., a d Sacchi, M., 2007, F ie ec c i f if l a led, alia ed ei ic da a: , **72**, V21–V32. d i:10.1190/1.2399442